

Puheäänten hermostollisen erottelun yhteys esilukutaitoihin

Ella Marjatta Siikjärvi

Pro gradu -tutkielma

Psykologia

Lääketieteellinen tiedekunta

Toukokuu 2021

Ohjaajat: Paula Virtala ja Teija Kujala

Tutkielma on osa tutkimushanketta Luki- ja kielihäiriöiden hermostollinen perusta, biomarkerit ja kuntoutuvuus



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Lääketieteellinen tiedekunta		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Psykologian maisteriohjelma	
Tekijä – Författare – Author Ella Marjatta Siikjärvi			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Puheäänten hermostollisen erottelun yhteys esilukutaitoihin			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Psykologia			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma	Aika – Datum – Month and year Toukokuu 2021	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 48 + 8	
<p>Tiivistelmä – Referat – Abstract</p> <p>Tavoitteet. Tutkimuksessa selvitettiin aivosähkökäyrämittauksin (EEG) puheäänille syntyvän poikkeavuusnegatiivisuuden (engl. <i>mismatch negativity</i>, <i>MMN</i>) ja myöhäisen erottelevan negatiivisuusvasteen (engl. <i>late discriminative negativity</i>, <i>LDN</i>) yhteyttä esilukutaitoihin. Esilukutaitojen aivoperustan tunteminen voi auttaa lukemisen haasteissa hyödynnettävien tukimuotojen kehittämisessä. Hypoteesina oli, että kaikille poikkeamille syntyy vasemmalle aivopuoliskolle painottuva MMN- ja LDN-vaste, ja voimakkaat, vasemmalle painottuvat vasteet ovat yhteydessä parempiin esilukutaitoihin. Lukivaikeusriskissä olevien lasten odotettiin suoriutuvan esilukutaidoista heikommin ja heidän herätevasteittensa oletettiin olevan pienempiä ja oikealle painottuneempia kuin verrokeilla.</p> <p>Menetelmät. Kaksikymmentäkolme lasta (joista 16 lukivaikeusriskissä) osallistui kielelliseen ja EEG-tutkimukseen noin neljän vuoden ja seitsemän kuukauden iässä. MMN- ja LDN-vasteiden voimakkuus mitattiin muutoksille vakioärsykkeen (/tata/) jälkimmäisen tavun vokaalissa, äänteiden kestossa tai äänenkorkeudessa. Herätevasteiden voimakkuuden ja jakaumien yhteyttä fonologiseen tietoisuuteen, nopeaan sarjalliseen nimeämiseen (engl. <i>rapid automatized naming</i>, <i>RAN</i>), kirjaintuntemukseen, kielelliseen lyhytkestoiseen muistiin sekä vanhemman arvioon lapsensa esilukutaidoista selvitettiin toistettujen mittausten kovarianssianalyysillä ja korrelaatioanalyysillä. Lukivaikeusriskin yhteyttä herätevasteisiin ja esilukutaitoihin tarkasteltiin toistettujen mittausten varianssianalyysillä sekä yksisuuntaisilla varianssianalyysillä.</p> <p>Tulokset. MMN-vasteet konsonantin keston ja vokaalin muutokselle oikealla sekä kaikki LDN-vasteet olivat tilastollisesti merkitseviä. LDN vokaalin keston muutokselle oli yhteydessä RAN:iin ja LDN suurelle äänenkorkeusmuutokselle Kirjaintuntemukseen siten, että hyvin suoriutuvilla vasteet olivat suurempia. LDN vokaalimuutokselle oli suurempi näissä molemmissa osatesteissä heikosti suoriutuvilla ja LDN pienelle äänenkorkeusmuutokselle oli suurempi RAN:ssa heikosti suoriutuvilla. MMN-vasteet painottuivat RAN:ssa heikosti suoriutuvilla päänpinnan oikealle ja hyvin suoriutuvilla pääasiassa vasemmalle puolelle. Lukivaikeusriski ei ollut yhteydessä herätevasteisiin tai esilukutaitoihin.</p> <p>Johtopäätökset. Puheäänteiden käsittely oikealle aivopuoliskolle painottuen sekä mahdollisesti myös haasteet vokaali- ja äänenkorkeusmuutosten erottamisessa ovat yhteydessä heikkoihin lukutaitoihin. Äänteiden käsittelyn ja erottelun vahvistaminen saattaa olla tärkeää lukutaitoja tuettaessa, mutta tätä tulisi selvittää interventiotutkimuksella.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords EEG, MMN, LDN, puheen hermostollinen erottelu, esilukutaidot, lukivaikeusriski			
Ohjaaja tai ohjaajat –Handledare – Supervisor or supervisors Paula Virtala ja Teija Kujala			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet)			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information Tutkielma liittyy Luki- ja kielihäiriöiden hermostollinen perusta, biomarkerit ja kuntoutuvuus -tutkimushankkeeseen			



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Faculty of Medicine		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Master’s Programme in Psychology	
Tekijä – Författare – Author Ella Marjatta Siikjärvi			
Työn nimi – Arbetets titel – Title The relationship between neural discrimination of speech sounds and pre-reading skills			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Psychology			
Työn laji – Arbetets art – Level Master’s thesis		Aika – Datum – Month and year May 2021	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 48 + 8
<p>Tiivistelmä – Referat – Abstract</p> <p><i>Objectives.</i> The aim of this study was to examine with electroencephalography (EEG) the associations between speech-sound elicited mismatch negativity (MMN) and late discriminative negativity (LDN) and pre-reading skills. Exploring the neural base of pre-reading skills will benefit the development of interventions for reading difficulties. It was hypothesized that left-lateralized MMNs and LDNs are elicited by all changes and larger and left-lateralized responses are linked with better pre-reading skills. Children with dyslexia risk were assumed to have poorer pre-reading skills and their responses were assumed to be smaller and more right-lateralized than in controls.</p> <p><i>Methods.</i> Twenty-three children (of whom 16 with dyslexia risk) participated in an assessment of language abilities and EEG recording around the age of four years seven months. MMN and LDN were recorded for vowel, phoneme duration and frequency changes occurring in the second syllable of the standard stimulus (/tata/). The Repeated-measures analyses of covariance and the correlation analyses were applied to examine the relationship between MMN and LDN amplitudes, scalp distributions and phonological awareness, rapid automatized naming (RAN), verbal short-term memory, letter knowledge and a parent’s evaluation of pre-reading skills. The effects of risk status on MMN and LDN responses and pre-reading skills were investigated with the Repeated-measures and the One-way analyses of variance.</p> <p><i>Results.</i> MMNs in the right hemisphere for consonant duration and vowel change and LDNs for all changes were statistically significant. LDN for vowel duration change was associated with RAN, and LDN for large frequency change was associated with letter knowledge so that the responses were larger in children performing better. LDN for vowel change was larger in children with poor letter knowledge and RAN, and LDN for small frequency change was larger in children performing poorly in RAN. Children performing poorly in RAN had right-lateralized MMNs, whereas children performing better had larger amplitudes mainly in the left hemisphere. Dyslexia risk had no effect on MMNs, LDNs or pre-reading skills.</p> <p><i>Conclusions.</i> Right-lateralized speech processing and possibly also difficulties of discriminating vowel and frequency changes are associated with poor reading skills. Strengthening the ability to discriminate and manipulate phonemes may be important when supporting reading skills, however this should be investigated with an intervention study.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords EEG, MMN, mismatch negativity, LDN, late discriminative negativity, speech discrimination, pre-reading skills, dyslexia risk			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Paula Virtala and Teija Kujala			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda/E-thesis (opinnäytteet)			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information This thesis is associated with <i>The neural basis, biomarkers, and intervention of reading and language deficits project.</i>			

Esipuhe

Tämän pro gradu -tutkielman aineisto on osa laajempaa Kognitiivisen aivotutkimuksen yksikössä toteutettua Luki- ja kielihäiriöiden hermostollinen perusta, biomarkkerit ja kuntoutuvuus (Lukivauva) -hanketta. Hanketta rahoittavat Suomen Akatemia, Jane ja Aatos Erkon säätiö ja Kela. Vastaavana tutkijana hankkeessa toimii prof., PsT Teija Kujala ja vastaavana lääkärimä LT Kaija Mikkola. Tutkimushankkeella on HUS:n Naisten, lasten ja psykiatrian eettisen toimikunnan puoltava lausunto (30.10.2014, asianumero 237/13/03/03/2014). Tämän tutkimuksen otos on osaotos laajemmasta seuranta-aineistosta, johon on rekrytoitu noin 200 vuosien 2015–2017 välillä syntynyttä lasta. Tämän tutkimuksen aineistoon otettiin mukaan ne lapset, jotka osallistuivat kielelliseen tutkimukseen ja EEG:n seurantamittaukseen noin neljän vuoden ja seitsemän kuukauden iässä syyskuun 2019 ja maaliskuun 2020 välisenä aikana. Koronapandemia vaikutti käytettävissä olevan aineiston määrään, sillä tutkimukset jouduttiin keskeyttämään keväällä 2020.

Olen saanut tutkimusaineiston keruussa ja käsittelyssä apua useilta Lukivauva-tutkimusryhmän jäseniltä. Aineiston keruussa olivat itseni lisäksi mukana tutkimusavustajana toimineet psykologian opiskelijat Laila Ketvel ja Oona Kantele. Olen itse tutkinut tai ollut mukana lapsista noin kolmanneksen mittauksissa. EEG-mittausten aikaisten teknisten ongelmien ratkomisesta haluan kiittää Kognitiivisen aivotutkimuksen yksikön laboratorioinsinöörejä Tommi Makkosta ja Jaakko Kauramäkeä. EEG-aineiston käsittelyyn liittyvät päätökset tein yhdessä tutkijatohtori Paula Virtalan kanssa, tohtorikoulutettava Linda Kailaheimo-Lönnqvistin avustuksella. Haluan kiittää myös Jari Lipsasta tilastanalyysien kiemuroissa saamastani avusta, sekä Kimmo Alhoa ja seminaariryhmää kommenteista ja palautteesta gradun viimeistelyvaiheessa. Ennen kaikkea haluan kuitenkin kiittää tutkielman teon aikana saamastani tuesta ja neuvoista ohjaajiani Paula Virtalaa ja Teija Kujalaa. Kiitos, että vastasitte kysymyksiini sähköpostitse niin nopeasti ja olitte aina tarpeen tullen apuna!

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	1
1.1 Lukutaitojen tärkeimmät ennustajat leikki-iässä	2
1.1.1 Esilukutaidot ja lukemaan oppiminen.....	2
1.1.2 Haasteet lukemaan oppimisessa.....	3
1.2 Puheäänten erottelun tutkiminen herätevasteiden avulla.....	4
1.2.1 MMN- ja LDN-vasteet leikki-ikäisillä lapsilla	6
1.3 Puheäänten erottelua ilmentävien herätevasteiden yhteys esilukutaitoihin	7
1.4 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit	9
2. Menetelmät	10
2.1 Tutkittavat.....	10
2.2 Tutkimustilanne ja lasten huomiointi tutkimuksessa.....	12
2.3 Esilukutaitojen arviointi	13
2.4 EEG-mittaus	14
2.4.1 Ärsykkeet ja koeasetelma	14
2.4.2 Mittauslaitteisto.....	15
2.4.3 EEG-aineiston esikäsittely	15
2.4.4 MMN- ja LDN-vasteiden määrittäminen.....	17
2.5 Tilastolliset menetelmät.....	18
3. Tulokset.....	21
3.1 MMN- ja LDN-vasteiden merkitsevyys	21
3.2 MMN- ja LDN-vasteiden voimakkuuksien yhteydet esilukutaitoihin	21
3.3 MMN- ja LDN-vasteiden päänpinnan jakaumien yhteydet esilukutaitoihin	28
3.4 Lukivaikeuden riskin vaikutus herätevasteisiin ja esilukutaitoihin	30
4. Pohdinta	31
4.1 Poikkeavien ärsykkeiden esitietoinen erottelu.....	31
4.2 Herätevasteiden voimakkuuden yhteys esilukutaidoissa suoriutumiseen.....	32
4.3 Herätevasteiden päänpinnan jakaumien yhteydet esilukutaidoissa suoriutumiseen	35
4.4 Lukivaikeuden riskin vaikutus herätevasteisiin ja suoriutumiseen esilukutaidoissa	36
4.5 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet.....	37
4.6 Johtopäätökset	38
Lähteet.....	40
Liitteet.....	49
Liite 1: Luku- ja kirjoitustaitokysely	49
Liite 2: Korrelaatiot herätevasteiden voimakkuuksien ja esilukutaitojen välillä.....	53
Liite 3: Korrelaatiot lateralisaatioindeksien ja esilukutaitojen välillä	55

1. Johdanto

Sujuva lukutaito on edellytys oppimiselle koulussa, jossa tiedon omaksuminen pääosin nojaa kirjoitetusta kielestä oppimiseen. Ongelmilla lukutaidon omaksumisessa voi olla merkittäviä seurauksia yksilön koko elämänsäkululle, kuten kouluttautumiselle ja työllistymiselle, joten lukemisen vaikeuksia ennakoiviin merkkeihin tulee kiinnittää huomiota ajoissa. Puheen ja kielen kehityksen haasteet lapsuudessa ovat usein yhteydessä lukutaitojen omaksumisen vaikeuksiin myöhemmin (Snowling & Melby-Lervåg, 2016). Vastaavasti lapsilla, joilla on ongelmia lukemaan oppimisessa tai sille perhetaustainen riski, todetaan poikkeavuuksia puheäänten käsittelyä heijastavissa kuuloherätevasteissa (Kujala, 2007; Lovio, Näätänen & Kujala, 2010). Näin ollen kyky havaita puhetta, puheen kehitys ja lukutaidot ovat läheisesti yhteydessä toisiinsa. Puheen käsittely ja tuotto muodostavat perustan, jolle kehittyvät tärkeät lukemista edeltävät taidot, kuten fonologinen tietoisuus (Ozernov-Palchik & Gaab, 2016) eli kyky tunnistaa ja käsitellä äänteitä, joista sanat koostuvat (Norton & Wolf, 2012) sekä kirjaintuntemus, eli puheäänteitä vastaavien kirjainten tuntemus (Ozernov-Palchik & Gaab, 2016). Fonologinen tietoisuus, kirjaintuntemus sekä niin kutsuttu nopea sarjallinen nimeäminen (engl. *rapid automatized naming, RAN*) ovat puolestaan tärkeimmät lukutaitojen kehitystä ennustavat kyvyt ennen lukutaidon opettelemista, aakkosellista kirjoitusjärjestelmää noudattavissa kielissä, kuten suomen kielessä (Caravolas, Lervåg, Defior, Seidlová Málková & Hulme, 2013; Torppa, Lyytinen, Erskine, Eklund & Lyytinen, 2010). Nopea sarjallinen nimeäminen viittaa kykyyn hakea mielestä ja tuottaa nopeasti tarvittava sana (Wolf, Bowers & Biddle, 2000).

Lukemista edeltävien taitojen kehitystä leikki-iässä on tärkeää tutkia, jotta pystytään kohdentamaan mahdollisimman varhain tukea lapsille, joilla todennäköisesti ilmenee vaikeuksia lukutaitojen omaksumisessa. Toisinaan lapsen osaamisen arviointia tavanomaisin testimenetelmin hankaloittavat lapsen motivaatioon ja tarkkaavuuteen liittyvät tekijät tutkimustilanteessa. Puheen käsittelystä voidaan kuitenkin saada tietoa tarkkaavuudesta riippumatta mittaamalla aivosähkökäyrällä (EEG) kuuloherätevasteita puheäänten esittämisen aikana (Thierry, 2005). EEG:llä voidaan siis saada epäsuorasti tietoa puheäänten käsittelystä. Esilukutaitojen aivoperustan tunteminen voi olla avuksi lukemisen haasteissa hyödynnettävien tukimuotojen kehittämisessä. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kuinka puheäänten poikkeamille syntyvät kuuloherätevasteet ovat yhteydessä esilukutaitoihin noin neljän vuoden ja seitsemän kuukauden ikäisillä lapsilla, joista suurella osalla on perhetaustainen riski lukivaikeudelle.

1.1 Lukutaitojen tärkeimmät ennustajat leikki-iässä

1.1.1 Esilukutaidot ja lukemaan oppiminen

Lukutaitojen kehitystä kuvataan usein jatkumona, jossa perinteistä lukemista edeltävät esilukutaidot, eli erilaiset lukutaitojen kehitystä tukevat kyvyt, tiedot, asenteet ja ympäristöt, muodostavat perustan varsinaiselle lukemiselle myöhemmin (Whitehurst & Lonigan, 1998). Lukemaan oppimisesta lapsuudessa on esitetty kolme perinteistä mallia, jotka kuvaavat kehityksen etenevän vaiheittain (Chall, 1979; Ehri, 1987; Frith, 1986). Näiden mallien mukaan ensimmäisten ikävuosien aikana ensisijaista on puheen kehitys (Ehri, 1987), mutta samalla lapselle karttuu tietoa siitä miltä teksti näyttää (Ehri, 1987), kuinka sanat jaetaan osiin, kuinka nämä osat joskus sointuvat yhteen riimittelemällä sekä kuinka eri sanojen osia ja äänteitä voidaan sekoittaa ja yhdistää uusiksi sanoiksi (Chall, 1979). Tässä niin kutsutussa esilukutaidon vaiheessa yksittäisiä tuttuja tekstejä, kuten logot ja kyltit tunnistetaan ympäristövihjeiden (Ehri, 1987) sekä sanan ulkoasun ilmeisten piirteiden, kuten ensimmäisen kirjaimen varassa (Frith, 1986). Seuraavassa aakkosellisessa (Frith, 1986) tai sanan lukemisen (Ehri, 1987) vaiheessa harjoitellaan kirjaimia ja äänteiden erottelua (Ehri, 1987). Vähitellen yksittäisiä kirjaimia vastaavat äänteet opitaan yhdistämään sanoiksi (Frith, 1986) ja tekstin tulkitsemisessa käytetään varsinaista tekstiä tukeutuen aluksi vain osaan sanan kirjaimista (Ehri, 1987). Siirtymässä toiseen vaiheeseen olennaista on kirjaintuntemuksen karttuminen, sillä tässä vaiheessa kirjaimia hyödynnetään luettaessa nimenomaan tehokkaammin kuin ympäristövihjeitä, joita aiemmin käytettiin toimivasti (Ehri & Wilce, 1985). Kouluiässä lapsen osaaminen kirjainten ja niitä vastaavien äänteiden saralla yhä vahvistuu sujuvoittaen lukemista, jolloin pystytään lukemaan myös uusia sanoja sanan jokaista kirjainta käyttäen ja lukutaito kehittyy automaattiseksi, tarkaksi ja nopeaksi (Ehri, 1987).

Sujuva lukeminen edellyttää kykyä tunnistaa sanat ja ymmärtää kieltä (Vellutino, Fletcher, Snowling & Scanlon, 2004). Esilukutaidot heijastavat lapsen käsitystä säännöistä, joiden mukaan teksti muunnetaan äänteiksi luettaessa sekä ymmärrystä sanojen ja tekstin asiayhteydestä (Whitehurst & Lonigan, 1998). Viimeisenä mainittuihin kuuluvat kyky ymmärtää ja tuottaa narratiiveja sekä teksteistä muodostetut perustavanlaatuiset käsitykset (esim. lukusuunta), joiden avulla tekstin merkitys tulkitaan (Whitehurst & Lonigan, 1998). Tässä tutkielmassa esilukutaidoilla viitataan jatkossa vain ensin mainittuihin sanan tunnistamisen kannalta tärkeisiin taitoihin, joihin kuuluvat muun muassa kirjaintuntemus ja fonologinen prosessointi (Whitehurst & Lonigan, 1998). Fonologisen prosessoinnin osataitoja ovat fonologinen tietoisuus, nopea sarjallinen nimeäminen sekä kielellinen lyhytkestoinen muisti (Wimmer & Schurz, 2010), eli kyky väliaikaisesti säilyttää ja käyttää sanallisesti esitettyä materiaalia (Christopher ym., 2014). Usein nopea sarjallinen nimeäminen erotetaan fonologisesta prosessoinnista omana itsenäisenä toimintona (Norton & Wolf, 2012).

Fonologisen tietoisuuden yhteys lukutaitoon on tunnistettu useissa tutkimuksissa (Christopher ym., 2014; Helland & Morken, 2015; Kirby, Parrila & Pfeiffer, 2003; Maurer ym., 2009) ja tämä äänteellisen tiedon kartuttaminen vaikuttaa olevan keskeistä juuri 4–5 vuoden iässä. Lasten, joiden lukutaidot myöhemmin olivat paremmat tai heikkommat havaittiin eroavan kyseisessä taidossa noin neljävuotiaasta alkaen (Torppa ym., 2010). Koska fonologinen tietoisuus viisivuotiaana selitti vain vähän vaihtelusta lukemisessa myöhemmin (Torppa ym., 2010), kyky käsitellä äänteitä vaikuttaa olevan merkittävä ennen kaikkea muiden esilukutaitojen, kuten esimerkiksi kirjaintuntemuksen kehityksen kannalta. Useiden tutkimusten mukaan hidas kirjaintuntemuksen karttuminen leikki-iässä ennakoii ongelmia lukemaan oppimisessa myöhemmin (Lyytinen ym., 2006; Shapiro, Carroll & Solity, 2013; Torppa ym., 2010), joskin aina kirjaintuntemuksen yhteyttä lukutaitoon ei ole havaittu (esim. Maurer ym. 2009). Kirjaintuntemusta arvioitaessa on huomattava, että erityisesti tämän taidon harjaantumiseen vaikuttaa vanhempien oma lukutaito, kiinnostus kieleen ja aktiivisuus kirjainten opettamisessa lapselle (Torppa, Poikkeus, Laakso, Eklund & Lyytinen, 2006) sekä vanhempien sisarusten osaaminen ja kirjaimiin liittyvä työskentely kotona. Näistä syistä lapsen heikko kirjaintuntemus ei usein viittaa kognitiiviseen haasteeseen kirjainten oppimisessa vaan enemmänkin kokemuksen puutteeseen.

Nopean sarjallisen nimeämisen yhteys lukutaitoon on osoitettu useissa tutkimuksissa siten, että nopeampi suoritus on yhteydessä parempaan lukutaitoon (Helland & Morken, 2015; Kirby ym., 2003; Lohvansuu, Hämäläinen, Ervast, Lyytinen & Leppänen, 2018; Torppa ym., 2010). Joskus kyseiseen taitoon viitataan myös termillä nopea sananhaku (engl. *word-retrieval speed*; Wolf ym. 1986). Nopea sarjallinen nimeäminen edellyttää tarkkaavuutta sekä näönvaraisen ja sanaan liittyvään aakkosellisen sekä ääntämyksellisen tiedonkäsittelyn yhtäaikaista toimintaa, jotta tarvittava sana saadaan nopeasti haettua mielestä ja tuotettua motorisesti (Wolf ym., 2000). Toisaalta tämän esilukutaidon leikki-iässä ei aina ole havaittu olevan yhteydessä myöhempään lukutaitoon (Maurer ym., 2009) ja yhteyden lukutaitoon on havaittu vahvistuvan kouluiässä (Helland & Morken, 2015). Vastaavasti kielellisen lyhytkestoisen muistin on havaittu olevan yhteydessä lukutaitoon vasta myöhemmin esikouluiässä (Helland & Morken, 2015) ja yhteys on osoittautunut vahvemmaksi luetun ymmärtämiseen kuin tekniseen lukemiseen (Christopher ym., 2014). Tämä on johdonmukaista, koska tekstin tulkitseminen edellyttää aiemmin luetun mielessä pitämistä, mitä ei juuri vaadita yksittäisten sanojen lukemisessa.

1.1.2 Haasteet lukemaan oppimisessa

Aina lukutaitojen omaksumisen kannalta keskeinen osaaminen ei kehity lapsilla odotetusti. Ongelmat lukemaan oppimisessa jaetaan usein sanatason lukemisen haasteisiin eli kehitykselliseen lukivaikeuteen ja luetun ymmärtämisen vaikeuteen (Hulme & Snowling, 2016). Kehityksellinen lukivaikeus on neurobiologinen häiriö, jossa lukemiseen liittyvien osataitojen omaksuminen on vaikeaa, vaikka lapsella ei ole laaja-alaisia kognitiivisen kehityksen haasteita, oppimisvaikeuksia tai muita esimerkiksi

aistitoimintoihin liittyviä tekijöitä, jotka selittäisivät ongelmat lukemisessa (Vellutino ym., 2004). Lukivaikeus on taustaltaan perinnöllinen oppimisvaikeus (Ozernov-Palchik & Gaab, 2016), joka ilmenee tyypillisesti lukemisen epätarkkuutena, sujumattomuutena, sanojen tekstistä tunnistamisen vaikeutena tai lukemisen hitautena (Hulme & Snowling, 2016). Toinen lukutaitojen omaksumista hankaloittava häiriö on kehityksellinen kielihäiriö (engl. *developmental language disorder, DLD*). Kyseisessä häiriössä lapsella on haasteita laaja-alaisesti kielellisissä kyvyissä, ja tämä ei selity näönvaraisen suoriutumisen, neurologisten toimintojen tai aistitoimintojen poikkeavuuksilla eikä ympäristötekijöillä (Arkkila, Smolander & Laasonen, 2013).

Ongelmia lukemaan oppimisessa edeltävät toisinaan haasteet puheessa ja kielellisissä kyvyissä, sekä tämän kehityksen hitaus varhaislapsuudessa (Hulme & Snowling, 2016; Ozernov-Palchik & Gaab, 2016; Snowling & Melby-Lervåg, 2016). Käytännössä vaikeudet ilmenevät muun muassa lapsen sanavaraston, tuotettujen lauseiden pituuden, kieliopillisen osaamisen, artikulaation ja puheen ymmärtämisen saralla (Snowling & Melby-Lervåg, 2016; Torppa ym., 2010). Leikki-iässä lukemista edeltävissä taidoissa, erityisesti fonologisessa prosessoinnissa havaitaan vaikeuksia niillä lapsilla, joilla myöhemmin todetaan lukivaikeus sekä niillä, joilla on sille riski (Snowling & Melby-Lervåg, 2016). Lukivaikeudessa puheen käsittelyssä on poikkeavuutta, ja tämän ajatellaan olevan keskeinen lukivaikeuteen johtava mekanismi (fonologinen häiriö; Hulme & Snowling, 2016; Ramus, 2014; Snowling & Melby-Lervåg, 2016). Puheen käsittelyä tutkitaan EEG:llä mitattujen puheäänille syntyvien herätevasteiden avulla.

1.2 Puheäänten erottelun tutkiminen herätevasteiden avulla

Puheäänten käsittelyä voidaan tutkia EEG:llä, jolla mitataan hermosolujen sähköisen toiminnan muutoksia aivoissa päänpinnalle asetetuilla kanavilla (Luck, 2014). EEG:llä mitataan suurten hermosolujoukkojen, yleisimmin pyramidaalisolujen sähköisestä toiminnasta syntyviä postsynaptisia potentiaaleja (Luck, 2014). Postsynaptisessa potentiaalissa presynaptinen hermosolu vapauttaa välittäjäaineita, jotka sitoutuvat postsynaptisen hermosolun vastaanottajiin, minkä seurauksena ionien virtaus ja jännite solukalvolla muuttuu (Luck, 2014). Kun useissa suurin piirtein saman suuntaisissa hermosoluissa syntyy yhtä aikaa postsynaptisia potentiaaleja, ovat niihin liittyvät hermosolun ulkoiset sähköiset jännitemuutokset summautuessaan mitattavissa päänpinnalta (Luck, 2014). EEG:n etuna on sen ajallinen tarkkuus, turvallisuus tutkittavalle sekä noninvasiivisuus (Luck, 2014). Menetelmän heikkoutena on huono paikallistarkkuus, sillä hermosolujoukkojen synnyttämät jännitteet sekoittuvat toisiinsa päänpinnalla ja jännitejakauma voi myös vääristyä jännitteen syntypaikan sekä päänpinnalle asetettujen kanavien välisten kudosten takia (Luck, 2014). Näin ollen tästä jakaumasta ei voida luotettavasti päätellä jännitteiden tarkkaa syntypaikkaa aivokuorella (Luck, 2014).

Herätevasteet (engl. *event-related potentials*) ovat päänpinnalta EEG:llä mitattuja hermostollisia signaaleja tietyille ärsykkeelle tai tiettyä toimintoa suoritettaessa (Luck, 2014). Herätevasteita tarkastelemalla saadaan tietoa havainto- ja kognitiivisten toimintojen hermostollisesta perustasta sekä tiedonkäsittelystä (Kujala, Tervaniemi & Schröger, 2007). Herätevasteet nimetään jänniteaallon suunnan mukaan positiiviseksi (P) tai negatiiviseksi (N), ja kirjaimen jälkeinen numero kuvaa vasteen huippukohdan ajoitusta tai useamman vasteen keskinäistä järjestystä herätevastekäyrässä (Luck, 2014). Aivokuoren herätevasteet jaetaan ulkosyntyisiin ja sisäsyntyisiin vasteisiin. Ulkosyntyiset herätevasteet ilmenevät aina ulkoisen ärsykkeen seurauksena (Luck, 2014). Tyypillisesti korvin kuultava ääni aiheuttaa vuorottain vaihtelevan sarjan positiivisia ja negatiivisia huippuja seuraavassa järjestyksessä: P1, N1, P2, N2, joskin näiden vasteiden esiintymisessä ja ajoituksessa on eri ikäisillä yksilöillä vaihtelua (Tavares, Crespo & Ribeiro, 2017). Näiden ulkosyntyisten herätevasteiden jälkeen ilmenevät kognitiivisia toimintoja heijastavat sisäsyntyiset vasteet, riippuen käytetystä koeasetelmasta (Luck, 2014).

Puheen hermostollisen erottelun tutkimuksessa yleinen EEG-mittauksen aikana käytetty koeasetelma on passiivinen *oddball* -asetelma (engl. *passive oddball paradigm*), jossa tutkittavalle esitetään sarja toistuvia ääniä eli vakioääniä, joiden joukossa esiintyy harvakseltaan poikkeamia (Luck, 2014). Vakioäänit muodostavat kuulijalle muistijäljen ja ennusteen äänivirran jatkumisesta, ja poikkeaman rikkoessa ennusteen syntyy niin kutsuttu poikkeavuusnegatiivisuus (engl. *mismatch negativity*, *MMN*; Näätänen, Gaillard & Mäntysalo, 1978). MMN-vaste syntyy poikkeamalle äänivirrassa, mutta myös poikkeamille muiden aistiärsykkeiden virrassa (Näätänen, Paavilainen, Rinne & Alho, 2007). Vaste havaitaan tyypillisesti päänpinnan etuosan keskialueille asetettujen kanavien herätevasteiden erotuskäyrässä, vähentämällä äänivirran poikkeaman herätevastekäyrästä vakioäänen herätevastekäyrä (Näätänen ym., 2007). Aikuisilla MMN-vaste saavuttaa negatiivisen huippunsa noin 150–250 ms:n kuluttua poikkeaman esittämisen jälkeen ja se syntyy tutkittavan tarkkaavuudesta riippumatta (Näätänen ym., 2007). MMN-vasteen ajatellaan koostuvan kahdesta alakomponentista. Molemmipuolisesti kuuloaivokuorelle ohimolohkojen yläosiin paikantuva alakomponentti on liitetty kuuloärsykkeen käsittelyyn sekä poikkeaman erottamiseen ja toinen, pään etuosiin oikealla paikantuva komponentti tahattomaan tarkkaavuuden kääntymiseen poikkeamaan (Näätänen ym., 2007). MMN-vastetta käytetään yleisesti erilaisten puheäänten piirteiden erottelutarkkuuden mittana, koska vasteen voimakkuus on yhteydessä äänten erottelun tarkkuuteen erottelutesteissä (Kujala ym., 2007; Näätänen ym., 2007). MMN-vasteiden on havaittu olevan voimakkaampia ja usein myös varhaisempia puheäänten muutoksille kuin muiden akustisesti vastaavien äänten muutoksille (Kuuluvainen ym., 2014; Kuuluvainen ym., 2016) ja puheäänten suuret muutokset ovat saaneet aikaan varhaisemman ja

voimakkaamman MMN-vasteen kuin pienet muutokset (Čeponienė, Lepistö, Alku, Aro & Näätänen, 2003).

Tyypillisesti äänivirran poikkeaman esittämisen jälkeen MMN-vastetta seuraa myöhäinen erotteleva negatiivisuusvaste (engl. *late discriminative negativity*, LDN; Korpilahti, Lang & Aaltonen, 1995), jota toisinaan kutsutaan myös myöhäiseksi MMN-vasteeksi (Korpilahti ym., 1995; Maurer, Bucher, Brem & Brandeis, 2003; Maurer ym., 2009). Luotettavimmin LDN-vaste havaitaan lapsilla (Bishop, Hardiman & Barry, 2011; Cheour, Korpilahti, Martynova & Lang, 2001). Vaste havaitaan äänivirran poikkeaman ja vakioäänen herätevasteiden erotuskäyrässä negatiivisena huippuna, tyypillisesti noin 400 ms:n kuluttua poikkeaman esittämisestä (Korpilahti ym., 1995). Myös LDN-vasteen jakauma päänpinnalla painottuu pään etukeskiosien alueille (Čeponienė ym., 2004; Ervast ym., 2015). LDN-vasteen on havaittu ilmenevän usein voimakkaampana sekä varhaisempana puheäänivirran poikkeamille kuin muiden akustisesti vastaavien äänten poikkeamille (Bishop ym., 2011; Kuuluvainen ym., 2016), ja se on suuren poikkeaman yhteydessä voimakkuudeltaan pieni, mutta pienen muutoksen yhteydessä suuri (Bishop ym., 2011; Čeponienė ym., 2004). Aiemmin LDN-vasteen on esitetty vastaavan aikuisten niin kutsuttua orientoitumisnegatiivisuusvastetta (engl. *reorienting negativity*, RON) heijastaen tarkkaavuuden uudelleen ohjaamista tai virheeseen havahtumista, kun tarkkaavuuden huomataan harhautuneen käsillä olevasta tehtävästä (Roeber, Widmann & Schröger, 2003; Schröger, Giard & Wolff, 2000; Shestakova, Huotilainen, Čeponienė & Cheour, 2003). Toisaalta LDN-vasteen on myös esitetty heijastavan automaattista monimutkaisen kuuloärsykkeen, mahdollisesti juuri kielellisen ärsykkeen käsittelyä (Korpilahti ym., 1995). Nykyään LDN-vasteen ajatellaan ilmentävän tarkkaavuuden tai kuulotiedon käsittelyn sijaan poikkeaman korkeamman tason jatkokäsittelyä, mahdollisesti etenkin silloin, kun ärsykkeen keskeisten piirteiden erottaminen on vielä vaikeaa tai siitä on vähemmän kokemusta (Bishop ym., 2011; Datta, Shafer, Morr, Kurtzberg & Schwartz, 2010).

1.2.1 MMN- ja LDN-vasteet leikki-ikäisillä lapsilla

Kuuloherätevasteet kehittyvät lapsuuden myötä vähitellen aikuisilla havaittuun muotoonsa. Erot aikuisten ja lasten vasteissa johtuvat kehityksellisistä muutoksista muun muassa aivojen synaptisessa tiheydessä ja valkean aineen kehityksessä sekä eroista kudoksissa, joiden läpi sähköinen signaali mitataan (Coch & Gullick, 2012). Aivokuoren kypsyminenkin voi vaikuttaa vasteen jakaumaan päänpinnalla, sillä kehityksen myötä esimerkiksi jännitteiden syntypaikka voi muuttua (Coch & Gullick, 2012). Myös ympäristön altistus esimerkiksi kielen oppimisen myötä muovaa aivoja vaikuttaen kuuloherätevasteisiin (Näätänen ym., 2007).

Merkittävimmät erot lasten ja aikuisten MMN-vasteissa liittyvät vasteiden ajoitukseen ja voimakkuuteen. Leikki-ikäisten lasten MMN-vasteet ajoittuvat myöhemmäksi verrattuna aikuisten

MMN-vasteeseen. MMN-vaste puheäänten muutoksille on havaittu 4–5-vuotiailla 300–400 ms:n kuluttua (Shafer, Yu & Datta, 2010) ja 5–6-vuotiailla 200–300 ms:n kuluttua poikkeaman alusta (Linnavalli, Putkinen, Huotilainen & Tervaniemi, 2018; Lovio ym., 2009). MMN-vasteen voimakkuus kasvaa lapsuudessa (Bishop ym., 2011; Linnavalli ym., 2018), ja näin ollen esikouluikäisillä lapsilla vasteet puheäänten muutoksille ovat pienempiä kuin aikuisilla (Lovio ym., 2009). Toisaalta leikki-ikäisten lasten MMN-vasteet ovat joskus polariteetiltaan käänteisiä eli positiivisia tai poikkeaman yhteydessä voidaan havaita sekä positiivinen että negatiivinen vaste (Chen, Tsao & Liu, 2016; Lee ym., 2012; Shafer ym., 2010). Positiivisia vasteita puheäänten poikkeamille on havaittu leikki-ikäisillä, kun poikkeamat ovat olleet vaikeasti erotettavia tai ne ovat ilmenneet omassa äidinkielessä vähemmän keskeisissä puheäänten piirteissä (Lee ym., 2012) sekä lapsilla, joiden kielen kehityksen on myöhemmin todettu olevan viivästynyttä (Chen ym., 2016). Tässä tutkielmassa tarkastellaan kuitenkin vain negatiivisia MMN-vasteita.

Myös LDN-vasteen ajoitus siirtyy varhaisemmaksi iän myötä, mutta sen voimakkuus heikentyy (Bishop ym., 2011; Cheour ym., 2001; Linnavalli ym., 2018). 5–6-vuotiailla LDN-vaste on havaittu 400–500 ms:n kuluttua puheäänien muutoksesta (Linnavalli ym., 2018). Toisinaan LDN-vaste on leveä muodostuen useammasta negatiivisesta huipusta, joten joskus vasteen tarkastelu on jaettu kahteen ajankohtaan (Putkinen, Niinikuru, Lipsanen, Tervaniemi & Huotilainen, 2012).

Yleensä kielellistä materiaalia käsitellään vasempaan aivopuoliskoon painottuen (Tervaniemi & Hugdahl, 2003), joten tyypillisesti esikouluikäisillä lapsilla sekä MMN- että LDN-vaste havaitaan puheäänten muutoksille voimakkaampana päänpinnan vasemmalla kuin oikealla puolella (Datta ym., 2010; Kuuluvainen ym., 2016). Puheäänten muutoksille syntyvien herätevasteiden avulla saadaan tietoa aivojen kuulojärjestelmän toiminnasta mutta myös kielellisten taitojen kehityksestä, koska puheäänten hermostollinen käsittely on yhteydessä kielellisten taitojen kehitykseen lapsuudessa (ks. esim. MMN- ja LDN-vasteiden poikkeavuudet kielen kehityksen häiriöissä; Datta ym., 2010; Kujala, 2007; Lee, 2019).

1.3 Puheäänten erottelua ilmentävien herätevasteiden yhteys esilukutaitoihin

Lapsilla, joilla on lukivaikeus, kehityksellinen kielihäiriö tai riski niille, MMN-vasteet puheäänten muutoksille saattavat olla pienempiä (Kujala & Leminen, 2017; Lovio ym., 2010), puuttua kokonaan (Lee, 2019) tai olla viivästyneitä verrattuna tyypillisesti kehittyneiden lasten MMN-vasteisiin (Kujala & Leminen, 2017). Aina ei kuitenkaan ole havaittu eroja MMN-vasteissa tyypillisesti kehittyneillä lapsilla ja niillä, joilla on lukivaikeus (Paul, Bott, Heim, Wienbruch & Elbert, 2006). Osa tutkimuksista raportoi vain LDN- mutta ei MMN-vasteiden pienentyneen lapsilla, joilla on lukemisen ongelmia tai riski niille (Halliday, Barry, Hardiman & Bishop, 2014; Neuhoff ym., 2012), joskin toisaalta LDN-

vasteiden on havaittu olevan joskus suurentuneita lapsilla, joilla on riski lukivaikeudelle (Hämäläinen, Lohvansuu, Ervast & Leppänen, 2015; Maurer ym., 2003). Lisäksi lapsilla, joilla on lukivaikeusriski tai kielen kehityksen haasteita MMN- ja LDN-vasteet puheäänten muutoksille painottuvat joskus pään oikealle puolelle (Datta ym., 2010; Ozernov-Palchik & Gaab, 2016) tai ainakin normaalia vähemmän pään vasemmalle puolelle (Maurer ym., 2003).

Puheäänille syntyvien kuuloherätevasteiden yhteyttä lukemista ennustaviin taitoihin on myös tutkittu. Vauvana pään etuosasta mitatut kuuloherätevasteet ajanjaksolla 320–420 ms siniäänen korkeuden muutokselle olivat yhteydessä fonologiseen prosessointiin ja kirjaintuntemukseen 3–5 vuoden iässä siten, että suurempi positiivinen vaste oli yhteydessä parempaan suoritukseen (Leppänen ym., 2010). Tyypillisesti kehittyneillä 5–6-vuotiailla kiinan- ja suomenkielisillä lapsilla suuren MMN- ja LDN-vasteen äidinkielen tavujen muutoksille on osoitettu olevan yhteydessä parempaan fonologiseen tietoisuuteen ja kielelliseen lyhytkestoiseen muistiin (Hong ym., 2018; Linnavalli, Putkinen, Huotilainen & Tervaniemi, 2017). Vastaavasti 5–6-vuotiailla suuri LDN-vaste siniäänen korkeuden muutokselle oli yhteydessä parempaan suoriutumiseen etenkin kielellisessä lyhytkestoisessa muistissa, mutta myös nopeassa sarjallisessa nimeämisessä (Hämäläinen ym., 2015).

Myös kuuloherätevasteiden jakauman päänpinnalla puheen käsittelyn aikana on todettu olevan yhteydessä esilukutaitoihin siten, että oikealle painottuvat vasteet ovat yhteydessä heikkoon suoritukseen (Guttorm, Leppänen, Hämäläinen, Eklund & Lyytinen, 2009; Kuuluvainen ym., 2016). Vauvana mitatut päänpinnan oikealle puolelle painottuvat kuuloherätevasteet kaksiaanteisen tavun ensimmäisen äänten muutoksille olivat yhteydessä heikkoon fonologiseen prosessointiin, nopeaan sarjalliseen nimeämiseen ja kirjaintuntemukseen noin kuusivuotiaana (Guttorm ym., 2009). Vastaavasti kuusivuotiaiden MMN-vasteet puheäänen voimakkuuden muutokselle painottuivat vasemmalle lapsilla, jotka suoriutuivat hyvin kirjaintuntemuksessa ja suomenkielisten tavujen lukemisessa (Kuuluvainen ym., 2016). LDN-vasteen jakauman ja esilukutaitojen yhteyttä ei juurikaan ole tutkittu, joskin on viitteitä äänten muutokselle syntyneen vasemmalle painottuneen LDN-vasteen yhteydestä parempaan lukutaitoon (Maurer ym., 2009).

Edellä esitetyn perusteella MMN- ja LDN-vasteet ovat ryhmätasolla yhteydessä useisiin lukemista edeltäviin taitoihin, mikä tukee puheen käsittelyn merkitystä lukutaitojen kehityksessä ja sitä, että näiden herätevasteiden avulla saadaan tietoa esilukutaitojen aivoperustasta. Yleisimmin hermostollisen puheäänten erottelun yhteydet on havaittu fonologiseen tietoisuuteen, koska kyseistä esilukutaitoa on tutkittu paljon ja siihen liittyvät haasteet ovat olennaisia lukivaikeudessa (Hulme & Snowling, 2016; Ramus, 2014; Snowling & Melby-Lervåg, 2016). Puheäänten erottelulla on kuitenkin havaittu yhteyksiä myös muihin tärkeisiin esilukutaitoihin, joskin aiemmin on tarkasteltu lähinnä esikouluikäisiä lapsia, jotka ovat jo saaneet ohjausta lukutaitoihinsa. 4–5-vuotiaiden lasten osaamista esilukutaidoissa voidaan

tutkia jo varsin luotettavasti, ja näiden taitojen ja niiden aivoperustan tunteminen on mahdollisesti hyödyllistä lukivaikeutta ennaltaehkäisevien tuki- ja kuntoutusmenetelmien kehittämiseksi.

1.4 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan MMN- ja LDN-vasteita sekä esilukutaitoja noin neljän vuoden ja seitsemän kuukauden ikäisillä lapsilla, joista suurella osalla on perhetaustainen riski lukivaikeudelle. Tavoitteena on selvittää puheäänten muutoksille EEG:llä mitattujen herätevasteiden yhteyttä lapsen esilukutaitoihin kielellisessä tutkimuksessa neuropsykologisilla testimenetelmillä sekä vanhemman täyttämällä kyselyllä arvioituna. Tutkimuksessa selvitetään vokaalin ja konsonantin keston, äänenkorkeuden ja vokaalin muutoksille syntyvien MMN- ja LDN-vasteiden yhteyttä fonologiseen tietoisuuteen, kirjaintuntemukseen, nopeaan sarjalliseen nimeämiseen, kielelliseen lyhytkestoiseen muistiin sekä vanhemman arvioon lapsen esilukutaidoista. Myös lukivaikeuden riskin yhteyttä herätevasteisiin ja esilukutaitoihin tarkastellaan, joskin pieni otoskoko on huomioitava etenkin näitä tuloksia tulkitessa.

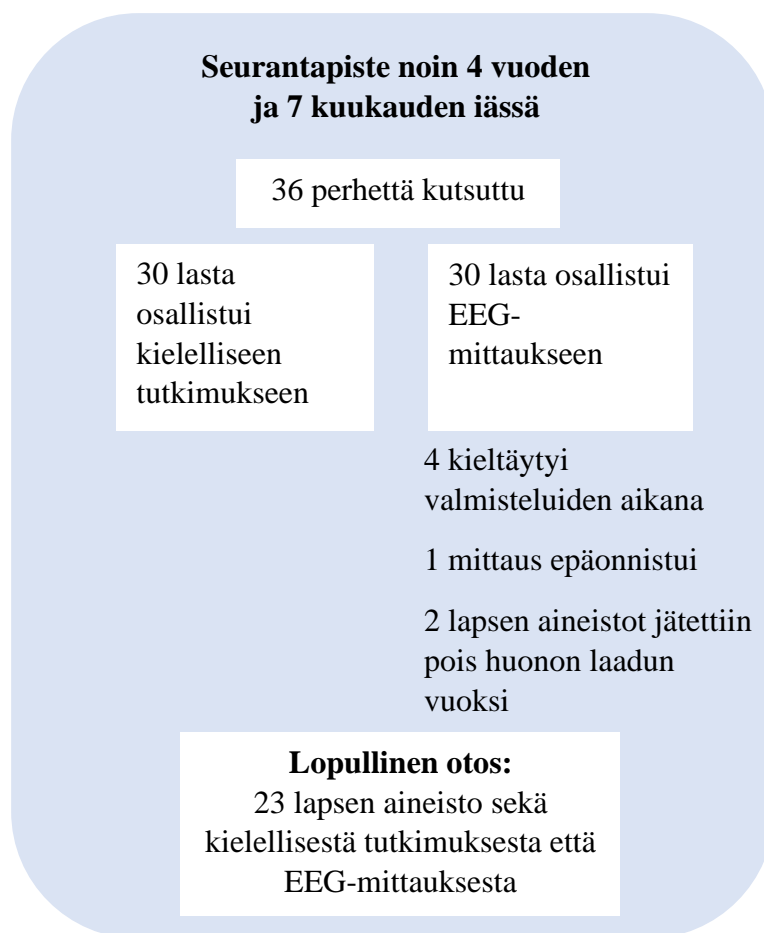
Aiemman kirjallisuuden perusteella ensimmäinen hypoteesi on, että kaikille tarkasteltaville puheäänten muutoksille syntyy sekä MMN- että LDN-vaste, jotka painottuvat pääpinnalla vasemmalle. Toinen hypoteesi on, että suuret MMN- ja LDN-vasteet puheäänten muutoksille ovat yhteydessä parempiin esilukutaitoihin, ja pienet vasteet ovat yhteydessä heikompaan suoriutumiseen. Kolmas hypoteesi on, että puheäänille syntyvien MMN- ja LDN-vasteiden jakauma pääpinnalla on yhteydessä suoriutumiseen esilukutaidoissa siten, että nämä vasteet painottuvat pääpinnalla vasemmalle esilukutaidoissa paremmin suoriutuvilla lapsilla. Heikommin suoriutuvilla lapsilla vasteiden oletetaan painottuvan pääpinnalla oikealle. Neljäs hypoteesi on, että MMN- ja LDN-vasteet ovat pienempiä ja painottuvat pääpinnalla oikealle lapsilla, joilla on riski lukivaikeudelle, ja heidän odotetaan suoriutuvan esilukutaidoissa heikommin kuin verrokit.

2. Menetelmät

2.1 Tutkittavat

Tämän tutkimuksen otos on osaotos Lukivauva-seurantatutkimuksessa mukana olevista lapsista (n = 23, Kuva 1, jossa avattuna myös poissulut ja niiden perusteet). Seurantatutkimuksen aineiston keruu aloitettiin vuonna 2015. Perheet rekrytoitiin tutkimukseen joukko- ja sosiaalisen median, neuvola- ja sairaalatiedotteiden sekä tutkimushankkeen internetsivujen avulla. Lapsista 16 kuului riskiryhmään ja seitsemän verrokkiryhmään. Riskiryhmään kuuluvilla lapsilla vähintään toisella vanhemmista oli todettu (n = 13) tai kompensoitunut (n = 3) lukivaikeus. Lukivaikeus todettiin korkeintaan viisi vuotta aiemmin asetetulla lukivaikeusdiagnoosilla tai tutkimusavustajan suorittamalla arvioinnilla seurannan alussa, jolloin vanhemman tuli myös raportoida ongelmia lukemisessa esiintyneen jo lapsuudessa. Lukivaikeuden arviointi toteutettiin standardoidun luku- ja kirjoitustestin, haastattelun sekä kyselylomakkeen perusteella. Kompensoituneeksi vanhemman lukivaikeus todettiin, mikäli lapsuudessa selvästi havaittuja lukemisen haasteita ei aikuisuudessa enää ilmennyt ja vanhemmalla oli lukemisen haasteille sukuriski lähisukulaisen lukivaikeuden vuoksi. Riskiryhmään ei otettu mukaan vanhempia, joilla oli lukivaikeuden lisäksi yksilöllistetty opetussuunnitelma peruskoulussa tai aivovamma lapsuudessa, eikä vanhempia, joilla oli epäilty tai todettu tarkkaavuuden haasteita. Verrokkiryhmän lapsilla ei lähisuvussa ollut todettu lukivaikeutta tai muita kielen kehityksen tai oppimisen vaikeuksia. Osalle riskiryhmäläisistä (n = 6) oli 0–6 kuukauden iässä järjestetty musiikki-interventio, jossa vanhemmat soittivat lapselle kotona säännöllisesti tietynlaista musiikkia (ks. kuvaus musiikki-interventiosta esim. Virtala & Partanen, 2018). Kaikki lapset olivat terveitä ja normaalikuuloisia, ja tarkemmat taustatiedot on esitetty Taulukossa 1.

Tämän tutkimuksen analyyseissa tarkasteltiin aina joko koko otosta tai siitä poimittuja verrokki- ja riskiryhmää. Erikseen poimitusta riskiryhmästä poissuljettiin lapset, joiden vanhemman lukivaikeus oli kompensoitunut sekä ne, joille oli järjestetty musiikki-interventio, koska riskistatuksen määrittäminen ei ole yksiselitteistä niillä, joiden vanhemman lukivaikeus on kompensoitunut, ja musiikki-interventio saattaa vaikuttaa kuulotiedonkäsittelyyn. Näin ollen erikseen poimitussa riskiryhmässä oli lopulta seitsemän lasta, kuten verrokkiryhmässäkin. Kaikki lapset osallistuivat Lukivauva-tutkimuksen seurantavaiheeseen syyskuun 2019 ja maaliskuun 2020 välillä. Lapset kutsuttiin puhelimitse kielelliseen tutkimukseen ja EEG-mittaukseen noin neljän vuoden ja seitsemän kuukauden iässä. Toinen tai molemmat vanhemmista antoivat kirjallisen suostumuksensa tutkimukseen osallistumisesta ennen tutkimuksen alkua. Tutkimushankkeella on HUS:n Naisten, lasten ja psykiatrian eettisen toimikunnan puoltava lausunto.



Kuva 1. Tutkimuksen kulku ja otos.

Taulukko 1

Taustatiedot koko otoksessa sekä riski- ja verrokkiryhmässä. Raportoituna keskiarvot, keskihajonnat () sekä vaihteluväli [], paitsi otoskoossa ja muuttujassa sukupuoli lukumäärät. Lisäksi raportoituna riski- ja verrokkiryhmän eroja kuvaavat testisuureet (muissa t , paitsi sukupuolessa χ^2) ja p -arvot. Ryhmäeroja kyselyn iässä ei raportoida, koska kysely palautui vain kahdelta riskiryhmäläiseltä.

	Koko otos		Riski		Verrokki		$t(12)/\chi^2(1)$	p
Otoskoko	23		7		7			
Sukupuoli (t/p)	10/13		1/6		5/2		4.67	.03
Äidin koulutus (v)	17.1 (2.9)	[12.0, 23.0]	17.8 (3.3)	[12.0, 21.0]	17.7 (3.2)	[13.0, 23.0]	.07	.95
Ikä (kk) kielellisessä tutkimuksessa	55.1 (0.3)	[54.5, 55.9]	55.2 (0.2)	[54.5, 55.5]	55.2 (0.4)	[54.7, 55.9]	.09	.93
Ikä (kk) EEG:ssä	55.3 (0.4)	[54.6, 56.0]	55.3 (0.2)	[55.0, 55.6]	55.5 (0.4)	[55.1, 55.9]	-.82	.43
Ikä (kk) kyselyssä	60.0 (0.6)	[59.6, 61.7]	60.3 (0.4)	[60.0, 60.5]	60.2 (0.9)	[59.7, 61.7]		

Huom. t = tytöt, p = pojat, v = vuosi, kk = kuukausi. Tummennettuna $p < .05$ tasolla merkitsevät erot.

2.2 Tutkimustilanne ja lasten huomiointi tutkimuksessa

Kielellinen tutkimus toteutettiin ennen EEG-mittauksia, ja yleensä nämä tutkimukset järjestettiin eri päivinä. Kielellinen tutkimus ja EEG-mittaus toteutettiin Helsingin yliopiston lääketieteellisen tiedekunnan tiloissa Helsingissä. Arviointia suorittivat kolme tutkimushankkeessa toimivaa tutkimusavustajaa, jotka olivat psykologian koulutusohjelman maisterivaiheen opiskelijoita ja toimivat laillistetun psykologin ohjauksessa. Arviointia suorittava tutkimusavustaja ei pääsääntöisesti ($n = 21$) tiennyt kuuluiko lapsi riski- vai verrokkiryhmään, ja tutkittavat lapset molemmista ryhmistä pyrittiin jakamaan tutkimusavustajien kesken tasapuolisesti. Tutkimuksen aikana lapsen vanhempi odotti pääsääntöisesti tutkimushuoneen ulkopuolella. Jos lapsi halusi vanhemman jäävän huoneeseen, ohjeistettiin vanhempaa olemaan auttamatta lasta tehtävissä. Aluksi tutkimusavustaja selitti lapselle lyhyesti mitä tutkimuksen aikana tullaan tekemään. Tutkimusavustaja kannusti lasta yrittämään tehtävissä parhaansa ja varmisti, että lapsi ymmärsi ohjeet ja oli halukas aloittamaan tehtävät. Arviointiin sisältyvien tehtävien esitysjärjestystä muunneltiin satunnaisesti lasten välillä siten, että osalle lapsista esitettiin ensin tehtäväsarja 1 ($n = 10$) ja toisille ensin tehtäväsarja 2 ($n = 13$), joista jälkimmäisenä mainittuun kuuluivat kaikki tässä tutkimuksessa tarkasteltavat osatestit. Lasta pyydettiin kertomaan, jos hän halusi pitää taukoa, mutta tauko pidettiin joka tapauksessa tutkimuksen puolivälissä. Kokonaisuudessaan kielellinen tutkimus kesti noin kaksi tuntia. Tutkimuksen jälkeen perhe sai halutessaan lyhyen suullisen palautteen lapsen kielellisistä taidoista.

EEG-mittaus toteutettiin ääni- ja sähköeristetyssä huoneessa. Mittauksia suorittivat kolme tutkimusavustajaa ja toisinaan myös kaksi muuta Lukivauva-tutkimusryhmän jäsentä, jotka oli perehdytetty mittauslaitteiston käyttöön ja EEG-mittauksen toteuttamiseen. Paikalla oli kaksi tutkimusavustajaa, lapsi ja vanhempi, mutta varsinaisen mittauksen ajan vanhempi odotti yleensä huoneen ulkopuolella, ellei lapsi halunnut vanhemman jäävän huoneeseen. Pääsääntöisesti toinen tutkimusavustajista istui lapsen kanssa huoneessa tutkimuksen ajan. Tutkimuksen aluksi lasta ohjeistettiin olemaan hiljaa ja paikallaan aina kun ääniä kuuluu. Äänten kuuluessa lapsi istui nojatuolissa pelaamassa äänettömällä tabletilla. Mittauksen aikana tutkimusavustaja tarkkaili tietokoneelta EEG-aineiston laatua sekä kameran välityksellä lapsen liikkeitä, ääntelyä ja puhumista ja kirjasi näistä tiedot pöytäkirjaan. Lisäksi lapsen puhe, kasvojen kosketukset tai muut liikkeet merkittiin EEG-aineistoon tietokoneen näppäimistöllä numerokoodeilla. Äänisarjojen välissä pidettiin lapsen tarpeen mukaan taukoa ja EEG-mittaus valmisteluineen kesti 1.5–2 tuntia.

Lapsen olo pyrittiin tekemään tutkimuksissa turvalliseksi ja viihtyisäksi. Molemmissa tutkimuksissa vanhempi ja lapsi tulivat ensin yhdessä tutkimushuoneeseen, jotta lapsi sai rauhassa tutustua tilanteeseen ja tutkimusavustajaan vanhemman läsnä ollessa. Tehtävätyöskentely ja EEG-mittaus aloitettiin vasta kun se lapsesta tuntui hyvältä, ja lasta rohkaistiin kertomaan, jos hänellä oli jotain

kysyttävää tutkimusten aikana. EEG-mittausta varten perheille oli lähetetty etukäteen mittauksesta kertova kuvitettu satu, jonka avulla vanhemman oli mahdollista valmistaa lasta tähän monelle jännittävään tutkimukseen. Lopuksi lapselle annettiin pieni lelupalkinto kiitokseksi osallistumisesta tutkimukseen.

2.3 Esilukutaitojen arviointi

Neuropsykologiset testimenetelmät: Esilukutaitoja arvioitiin erilaisilla neuropsykologisilla osatesteillä, jotka suoritettiin kielellisessä tutkimuksessa. Fonologista tietoisuutta arvioitiin Nepsy-II:n Äänteiden prosessoinnin osatestillä, ja kielellistä lyhytkestoista muistia saman testipatteriston Lauseiden toistaminen -osatestillä (Korkman, Kirk & Kemp, 2008). Näistä osatesteistä tarkasteltiin standardipisteitä. Lauseiden toistaminen jäi yhdeltä lapselta tekemättä ($n = 22$). Kielellistä lyhytkestoista muistia arvioitiin myös Lukivauva-tutkimusryhmän suunnittelemalla työmuistitehtävällä, jossa lapselle lueteltiin pöydälle asetettujen, tuttujen lelujen ja esineiden nimiä listana ja koko listan kuultuaan lapsen tuli laittaa nimetyt esineet pöydällä olevaan laatikkoon. Esineiden lukumäärä listassa piteni tehtävän edetessä siten, että ensimmäisellä ja toisella listalla oli yksi esine, kolmannella ja neljännellä kaksi esinettä jne. Työmuistitehtävästä tarkasteltiin sekä raakapisteitä (1 piste / lista, katkaisukriteerinä virhe molemmissa saman pituisissa listoissa) että työmuistin maksimikapasiteettia (*span*), eli sitä kuinka monta esinettä sisältävän listan lapsi pystyi enintään pitämään mielessä. Nopeaa sarjallista nimeämistä arvioitiin Lukiva-testistön RAN-osatestillä, ja kirjainten osaamista saman testistön Kirjaintuntemus-osatestillä (Puolakanaho, Poikkeus, Ahonen & Aro, 2011). RAN-osatestistä tarkasteltiin suoritusaikaa ja Kirjaintuntemuksesta oikein tunnistettujen kirjainten lukumäärää.

Luku- ja kirjoitustaitokysely: Lisäksi lapsen esilukutaitoja arvioitiin vanhemman raportointiin perustuvalla Lukivauva-tutkimusryhmän tutkijatohtori Paula Virtalan kehittämällä kyselyllä, joka postitettiin perheelle lapsen täyttäessä viisi vuotta. Palautunut kysely otettiin tarkasteluun mukaan vain, jos kyseinen lapsi oli osallistunut sekä kielelliseen tutkimukseen että EEG-mittaukseen ($n = 12$). Luku- ja kirjoitustaitokysely sisältää 20 väittämää, joihin väitekohtaisesti vastataan 4–6-portaisella asteikolla. Väitteissä 1–8 arvioidaan lapsen esilukutaitoja (esim. ”lapsi osaa riimitellä”), väitteissä 9–14 lukutaitoa (esim. ”lapsi osaa lukea 1–2 tavuisia uusia sanoja”) ja väitteissä 15–20 kirjoitustaitoa (esim. ”lapsi osaa kirjoittaa 1–2 tavuisia uusia sanoja ilman mallia”). Luku- ja kirjoitustaitokyselystä lasketaan kolme osiokohtaista summaa sekä koko kyselyn pisteiden summa (Liite 1). Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin vain kyselyn kokonaispistemäärää.

2.4 EEG-mittaus

2.4.1 Ärsykkeet ja koeasetelma

EEG-mittauksen aikana lapselle esitettiin toistuvien vakioärsykkeiden sarja, jonka joukossa esiintyi erilaisia poikkeavia ärsykeitä. Vakioärsyke oli suomalaisen naisen lausuma suomalainen kaksitavuinen epäsana /tata/, jossa puheen paino oli ensimmäisellä tavulla. Vakioärsykkeen kesto kokonaisuudessaan oli 300 ms, mutta korvin kuultava osuus oli kestoaltaan 251 ms. Vakioärsykkeen jälkimmäinen tavu alkoi noin 168 ms:n kuluttua ärsykkeen alusta ja tauko tavujen välissä oli noin 85 ms, joskin tauon pituus ei ole yksikäsitteisesti mitattavissa, koska kyseessä on luonnollista puhetta.

Poikkeavissa ärsykkeissä ensimmäinen tavu oli aina sama kuin vakioärsykkeessä ja muutos tapahtui jälkimmäisessä tavussa. Erilaisia poikkeavia epäsanaärsykeitä oli yhteensä viisi. Muutos tapahtui joko äänenkorkeudessa siten, että jälkimmäinen tavu oli kaksi tai viisi puolisävelaskelta korkeampi kuin vakioärsykkeessä (/ta^{tä}/, tauon pituus tavujen välissä sama kuin vakioärsykkeessä), vokaalissa (/tato/, tauon pituus tavujen välissä sama kuin vakioärsykkeessä), konsonantin kestossa (/tat:a/, tauon pituus tavujen välissä 160 ms pidempi kuin vakioärsykkeessä eli noin 245 ms pitkä, toisen tavun alku 328 ms ärsykkeen alusta) tai vokaalin kestossa (/tata:/, jälkimmäinen /a/ 71 ms:n sijaan 158 ms pitkä, tauon pituus tavujen välissä sama kuin vakioärsykkeessä). Pääsääntöisesti muutos tapahtui 168 ms:n kuluttua, jolloin korvin kuultava muutoskohta oli 180 ms:n kuluttua, mutta vokaalin keston muutoksessa korvin kuultava muutoskohta oli vasta 225 ms:n kuluttua ärsykkeen alusta. Vaikka konsonantin keston muutoksessa toinen tavu alkoi myöhemmin kuin vakioärsykkeessä, oli muutoskohta myös tässä poikkeavassa ärsykkeessä 180 ms:n kuluttua ärsykkeen alusta, koska tavujen välinen pidempi tauko alkoi tässä ajankohdassa. Poikkeavat ärsykkeet luotiin muokkaamalla vakioärsykettä Adobe Audition CS6, 5.0, Build 708 ja Praat 5.4.01 -ohjelmistoilla lukuun ottamatta ärsykettä, jossa vokaali muuttui, joka luotiin erikseen lausutusta luonnollisesta äänitteestä /to/ siten, että sen sävelkorkeus ja kesto muokattiin samaksi kuin vakioärsykkeessä. Vakio- ja poikkeavien ärsykkeiden intensiteettitaso säädettiin identtiseksi käyttämällä neliöllistä keskiarvoa (engl. *root mean square normalization*). Samankaltaista koeasetelmaa käyttivät ensimmäisen kerran Pakarinen ym. (2014) ja myöhemmin myös Thiede ym. (2019) sekä Kailaheimo-Lönnqvist ym. (2020). Lisäksi ärsykkeiden joukossa esiintyi harvakseltaan muita luonnollisia ns. *novel*-ääniä, joiden kesto oli 200 ms (Sorokin, Alku & Kujala, 2010). Nämä äänet olivat ihmisperäisiä ääniä (esim. aivastus) sekä muita ääniä (esim. sähköporakoneen ääni). Näille äänille syntyvien herätevästeiden tarkastelu on rajattu pois tästä tutkimuksesta.

Ärsykeistä luotiin neljä äänisarjaa, jotka esitettiin kaikille lapsille samassa järjestyksessä. Ärsykkeiden määrä yhdessä äänisarjassa vaihteli 435–457 ärsykkeen välillä. Yhden äänisarjan kesto oli noin seitsemän minuuttia. Mikäli äänisarja jouduttiin keskeyttämään lapsen tarpeiden tai EEG-aineiston

laatuun liittyvien ongelmien takia, aloitettiin kyseinen äänisarja alusta. Äänisarja alkoi aina viisi kertaa toistuvalla vakioärsykkeellä. Kun jokainen neljästä äänisarjasta esitettiin lapselle vain kerran, jokainen poikkeava ärsyke esitettiin kokeen aikana yhteensä 160 kertaa. Äänisarjat luotiin siten, että jokaisen poikkeavan ärsykkeen esiintymistodennäköisyys yhdessä äänisarjassa oli 10 %. Sen jälkeen äänisarjaan lisättiin satunnainen määrä *novel*-ääniä (kuitenkin alle 5 % per äänisarja) sekä vakioärsykkeet siten, että joka toinen ärsyke oli aina vakioärsyke (esiintymistodennäköisyys 50 %). Muilta osin ärsykkeiden esitysjärjestys oli satunnaistettu. Aika ärsykkeiden välillä vaihteli satunnaisesti 850–950 ms:n välillä ärsykkeen alkuun liittyvän odotusefektin minimoimiseksi.

2.4.2 Mittauslaitteisto

EEG-päähineessä (ActiCAP, Brain Products GmbH, Gilching, Saksa) oli 32 aktiivikanavaa sekä referenssi- ja maadoituskanava (Kuva 2). Kanavat sijoitettiin kansainvälisen 10/20-järjestelmän mukaan. Yksittäisen kanavan jännite mitattiin suhteessa kaikkien kanavien keskiarvoon.

Aineisto kerättiin BrainProducts QuickAmp 40 -vahvistimella ja BrainVision Recorder 1.22.0002 -ohjelmistolla (BrainProducts GmbH, Gilching, Saksa). Vahvistimen näytteenottotaajuus oli 500 Hz ja alipäästösuodatus mittauksen aikana 100 Hz. Äänisarjat esitettiin Presentation 20.3 -ohjelmistolla (Neurobehavioral Systems Ltd., Berkeley Kalifornia, USA) kahdesta Genelec-kaiuttimesta (Genelec, Iisalmi, Suomi) noin 65 desibelin äänenpaineella lapsen pään kohdalta mitattuna. Kaiuttimien välinen etäisyys toisistaan oli 119 cm ja etäisyys kummastakin kaiuttimesta lapsen päähän oli noin 160 cm.

2.4.3 EEG-aineiston esikäsittely

EEG-aineiston esikäsittelyssä ja keskiarvokäyrien kuvaajien muodostamisessa käytettiin MATLAB-ohjelmiston versioita R2020a ja 2018b (The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, USA), EEGLAB-analyysiohjelmistoa (versiot 14.0.0b ja 2019.0; Delorme & Makeig, 2004), ERPLAB-analyysiohjelmistoa (versio 7.0.0; Lopez-Calderon & Luck, 2014) sekä CBRUplugin-ohjelmistoa (versiot 2.0b ja v2.1b; Tommi Makkonen, Helsinki, Suomi). Ensimmäiseksi aineistosta suodatettiin pois 0.025–40 Hz:n taajuuskaistan alittavat ja ylittävät taajuudet. Tämän jälkeen aineistosta poistettiin manuaalisesti selvästi häiriöiset kohdat näönvaraisen tarkastelun sekä mittauksen aikana aineistoon merkittyjen häiriötä ilmaisevien numerokoodien perusteella. Kanava tulkittiin signaali-kohinatasoltaan huonoksi, jos signaalissa oli jatkuvaa voimakkuudeltaan suurta häiriötä, tai se oli tasainen eli kontaktia ei ollut lainkaan. Jos pään keskialueilla sijaitseva eli keskeinen kanava (Kuva 2) oli signaali-kohinatasoltaan huono, kyseisen kanavan signaali merkittiin interpoloitavaksi. Interpoloitavaksi merkityt kanavat korvattiin laskennallisesti viereisten kanavien signaalin perusteella myöhemmässä vaiheessa. Jos pään reuna-alueilla sijaitseva eli syrjäinen kanava (Kuva 2) oli signaali-kohinatasoltaan huono, merkittiin kanavan signaali seuraavissa vaiheissa huomiotta jätettäväksi. Interpoloitavia kanavia

sai olla korkeintaan kaksi ja huomiotta jätettäviä kanavia kuusi kuitenkin niin, että huonoja kanavia yhden äänisarjan aikana rekisteröidyssä aineistossa yhteensä oli korkeintaan kuusi. Jos signaali-kohinasoltaan huonoja kanavia oli yhden äänisarjan aikana rekisteröidyssä aineistossa enemmän kuin kuusi, tulkittiin kyseisen äänisarjan aineisto laadultaan huonoksi ja se jätettiin pois jatkotarkastelusta. Tämä johti kahden lapsen aineiston (8 äänisarjaa) poistamiseen kokonaan tarkasteluista ja kyseessä ovat samat lapset, jotka mainitaan Kuvassa 1 huonolaatuisena aineistona.

Seuraavaksi aineistosta suodatettiin pois 0.5–25 Hz:n taajuuskaistan alittavat ja ylittävät taajuudet. Tämän jälkeen signaali uudelleen referoitiin pääsääntöisesti kummankin korvan takana (LM ja RM) ja kahden pään takaosassa (P7 ja P8) sijaitsevan kanavan keskiarvoon. Nämä kanavat ovat toistensa vastinpareja, eli ne sijaitsevat samassa kohdassa vasemmalla ja oikealla pään puoliskolla (Kuva 2). Huonoksi merkittyjä referenssikanavia käytettiin signaalin uudelleen referoinnissa, mutta mikäli referenssikanava oli toimimaton sekä kyseinen kanava että sen vastinpari poissuljettiin ja signaali referoitiin vain toisen kanavaparin keskiarvoon. Näin toimittiin kahden lapsen aineiston kohdalla (8 äänisarjaa, huom. eivät samat lapset kuin edellä). Toimimattomaksi kanava tulkittiin, mikäli kanavan signaali oli tasainen eli kontaktia ei ollut tai jos signaalin voimakkuus oli jatkuvasti yli $\pm 250 \mu V$. Mikäli molemmat referenssikanavat samalla pään puoliskolla olivat toimimattomia, kyseisen äänisarjan aineisto jätettiin pois jatkotarkasteluista (8 äänisarjaa, jotka on edellä ensimmäisenä mainittu huonolaatuisina poistettaviksi).

Silmänliikkeiden aiheuttamien häiriöiden korjaamiseen käytettiin tilastollista signaalinkäsittelymenetelmää ICA (engl. *independent component analysis*; EEGlabin runica- ja fastica-ohjelmat), jonka luomista komponenteista poistettiin ne, jotka näönvaraisen tarkastelun perusteella vastasivat silmien sivuttaisia liikkeitä tai räpäytyksiä. Poistettavat komponentit päätettiin vertaamalla ICA:n luomia komponentteja häiriöihin aineistossa, sekä tarkastelemalla vastasiko komponentin jännitejakauma päänpinnalla odotetusti silmien liikkeitä.

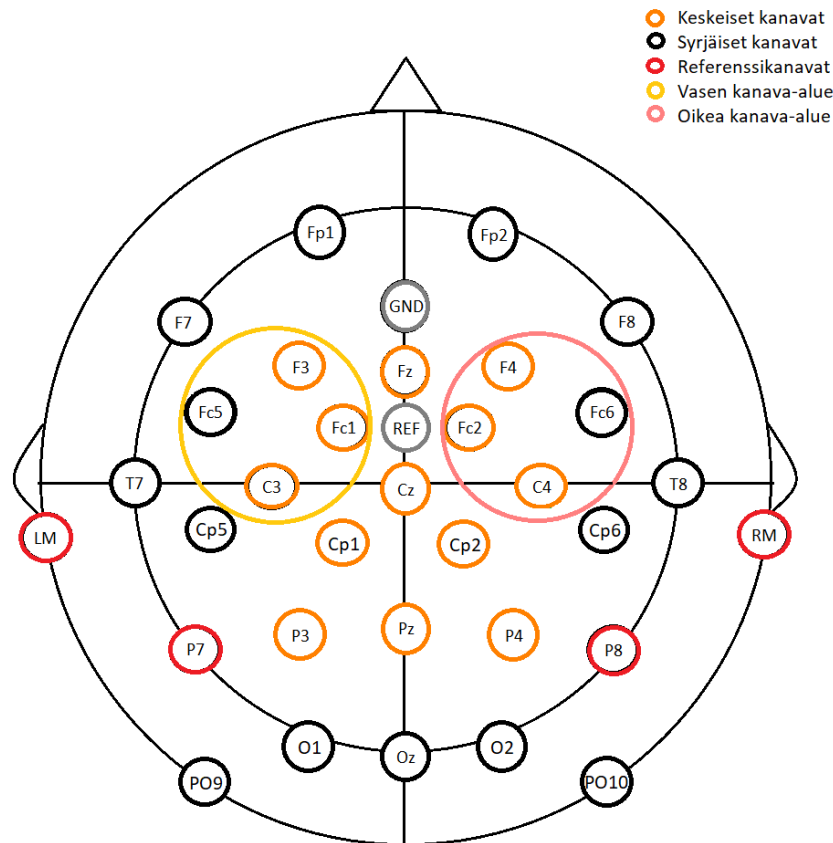
Tämän jälkeen signaali jokaisesta äänisarjan aikana rekisteröidystä aineistosta ja kanavasta leikattiin jaksoihin -100 ms ennen ärsykkeen alkua ja 840 ms ärsykkeen alusta. Signaalin perustaso korjattiin ärsykkeen alkua edeltävän 100 ms:n ajanjakson voimakkuuden keskiarvoksi. Jaksot poistettiin, jos signaalin voimakkuus silmien läheisillä kanavilla (FP1, FP2) oli suurempaa kuin $\pm 120 \mu V$, jos signaalin voimakkuus kanavalla vaihteli ± 3 keskihajontaa kyseiseen jaksoon tai lapsen koko aineistoon verrattuna sekä jaksot, joissa signaalin voimakkuudessa oli yli 100 μV :n ero jakson alku- ja loppukohdan välillä. Seuraavaksi jaksot lajiteltiin ärsyketyypeittäin jokaisesta äänisarjasta ja kanavasta. Lopuksi jokaisen lapsen kaikkien äänisarjojen aineistojen jaksot yhdistettiin siten, että muodostui yksi tiedosto yhtä lasta ja jokaista eri ärsyketyypistä kohden.

2.4.4 MMN- ja LDN-vasteiden määrittäminen

Kaikilla tutkimukseen sisällytetyillä 23 lapsella täyttyi kriteeri, että EEG-jaksojen toistomäärä oli 30 jokaista poikkeavaa ärsykettä kohden. Tarkasteltavaksi valittiin kaksi kanava-aluetta (engl. *region of interest, ROI*) pään vasemmalta (F3, FC1, FC5, C3) ja oikealta (F4, FC2, FC6, C4) puolelta (Kuva 2), MMN- ja LDN-vasteiden silmämääräisesti havaitun päänpinnan jännitejakauman sekä aiemman tutkimuskirjallisuuden perusteella.

Poikkeavien ärsykkeiden sekä vakioärsykkeen herätevasteista aiemmin mainituilla kahdeksalla kanavalla laskettiin erotuskäyrät vähentämällä poikkeavalle ärsykkeelle syntyneestä herätevasteesta vakioärsykkeen vaste. Erotuskäyrän lähtötaso asetettiin poikkeaman ajankohdan alkuun. Näin ollen kaikilla poikkeamilla, vokaalin keston muutosta lukuun ottamatta, ajanjaksolla 80–180 ms erotuskäyrän voimakkuus oli keskimäärin 0 μ V. Vokaalin keston muutoksen erotuskäyrässä ajanjaksolla 125–225 ms voimakkuus oli keskimäärin 0 μ V. MMN- ja LDN-vasteiden keskiarvovoimakkuus laskettiin erotuskäyrästä valitulta aikaikkunalta, mikä päätettiin ryhmäkeskiarvokäyrien negatiivisten huippujen silmämääräisen tarkastelun sekä peräkkäisten t-testien perusteella. Peräkkäiset t-testit suoritettiin CBRUplugin-ohjelmistolla ja niissä tarkasteltiin riippumattomien otosten t-testeillä vakio- ja poikkeavien ärsykkeiden herätevasteiden voimakkuuksien eroja jokaisessa rekisteröidyssä aikapisteessä välillä 50–790 ms poikkeaman alusta.

Aikaikkunat, jolta MMN- ja LDN-vasteiden huippuvoimakkuudet laskettiin, valittiin erikseen poikkeaville ärsykkeille. MMN-vasteen aikaikkunaksi otettiin erotuskäyrän ensimmäisen negatiivisen huipun ympäriltä 25 ms ennen ja jälkeen huipun keskimääräisen ajankohdan. Aikaikkuna vokaalin keston muutokselle oli 305–355 ms, suurelle ja pienelle äänenkorkeuden muutokselle 375–425 ms, vokaalimuutokselle 430–480 ms sekä konsonantin keston muutokselle 245–295 ms ärsykkeen alusta. Koska LDN-vasteet olivat kestoltaan pidempiä kuin MMN-vasteet, otettiin LDN-vasteelle leveämpi aikaikkuna, joka oli 50 ms ennen ja jälkeen toisen negatiivisen huipun keskimääräisen ajankohdan. LDN-vasteen aikaikkuna vokaalin keston, äänenkorkeuden ja konsonantin keston muutoksille oli 690–790 ms, ja vokaalimuutokselle 660–760 ms ärsykkeen alusta. Jokaiselle poikkeavalle ärsykkeelle syntyvät MMN- ja LDN-vasteiden keskimääräiset voimakkuudet laskettiin valituilta aikaikkunoilta kahdelta kanava-alueelta jokaiselle lapselle erikseen.



Kuva 2. Kanavien sijoittelu EEG-päähineessä; vasen ja oikea kanava-alue on ympyröity.

2.5 Tilastolliset menetelmät

Tilastolliset analyysit suoritettiin IBM SPSS Statistics 27 -ohjelmalla (IBM, New York, USA). Standardoitujen neuropsykologisten testien osatestien pistemäärät voitiin olettaa väestössä normaalisti jakautuneiksi, mutta muiden muuttujien (työmuistitehtävän raakapistet ja *span*, Luku- ja kirjoitustaitokyselyn kokonaispistemäärä, MMN- ja LDN-vasteiden voimakkuudet) normalisuutta tarkasteltiin Shapiro-Wilkin-testillä ja jakauman näönvaraisilla tarkasteluilla (histogrammit, kvantiilikuvio, laatikkokuvio). Koska kaikissa muuttujissa normalisuusoletus toteutui (testissä $p > .05$) tai jakauma ei silmämääräisesti tarkastellen poikennut merkittävästi normaalista, käytettiin parametrisia testimenetelmiä. Poikkeavia havaintoja aineistossa tarkasteltiin näönvaraisesti hajontakuvioilla ja yksi havainto muuttujassa RAN päädyttiin poistamaan, koska se oli selvästi etäällä kyseisen muuttujan muusta jakaumasta ja erittäin lähellä poikkeavan arvon ylärajaa, joka laskettiin kvartiilivälin (engl. *interquartile range*) perusteella.

MMN- ja LDN-vasteita vasemmalta ja oikealta kanava-alueelta tarkasteltiin kaikissa analyyseissä erikseen. MMN- ja LDN-vasteiden tilastollista merkitsevyyttä tarkasteltiin koko otoksessa korjaamattomilla yhden otoksen t-testeillä (2 vastetta, 2 kanava-alueita, 5 poikkeavaa ärsykettä, eli yhteensä 20 testiä, efektikoon mitta *Cohenin d*). Kanava-alueen päävaikutusta herätevasteiden

voimakkuuteen sekä kanava-alueen ja poikkeaman yhdysvaikutusta tarkasteltiin toistettujen mittausten varianssianalyysillä yli kaikkien poikkeamien (2 vastetta eli yhteensä 2 testiä, joissa 2 yksilöiden sisäistä tekijää; 2 kanava-aluetta, 5 poikkeavaa ärsykettä). Poikkeaman päävaikutus jätettiin pois tarkastelusta, koska voimakkuuksien erot eri poikkeamille syntyvissä herätevasteissa eivät olleet tutkimuksen kohteena.

MMN- ja LDN-vasteiden voimakkuuden ja päänpinnan jakauman kanava-alueilla yhteyttä seitsemään esilukutaitomuuttujaan (Äänteiden prosessointi, Lauseiden toistaminen, RAN, Kirjaintuntemus, Työmuistitehtävän raakapisteet ja *span*, kyselypisteet) tarkasteltiin koko otoksessa toistettujen mittausten kovarianssianalyysillä siten, että kukin esilukutaitomuuttuja oli yksitellen kovariaattina (2 vastetta, 7 esilukutaitoa, eli yhteensä 14 testiä, joissa 2 yksilöiden sisäistä tekijää; 2 kanava-aluetta, 5 poikkeavaa ärsykettä). Esilukutaitoja ei sijoitettu malliin yhtä aikaa, koska muuttujien voitiin olettaa korreloivan keskenään vahvasti, ja jatkotutkimuksia ajatellen esilukutaitojen efektejä haluttiin tarkastella itsenäisesti. Näissä malleissa tarkastelu rajattiin esilukutaitomuuttujien päävaikutuksiin eli esilukutaitojen yhteyksiin herätevasteisiin yli eri poikkeamien, sekä kaksinkertaisiin ja kolminkertaisiin yhdysvaikutuksiin MMN- tai LDN-vasteiden jakauman kanava-alueilla ja/tai eri poikkeamille syntyvien vasteiden ja esilukutaitomuuttujien välillä. Eroja eri poikkeamille syntyvien vasteiden välillä hyvin tai heikosti esilukutaidoissa suoriutuvilla ei silti raportoida, koska poikkeamien väliset erot eivät olleet tutkimuksen kohteena. Niin ikään poikkeaman tai kanava-alueen päävaikutuksia ei näistä malleista raportoida, koska ne eivät olleet tutkimuksen kohteena. Yhdysvaikutusten jatkotarkasteluissa ei käytetty pienen otoskoon takia tilastollisia testejä, vaan tarkastelut toteutettiin jakamalla lapset esilukutaidossa suoriutumisensa perusteella neljään kvartiiliin samaan tapaan kuin Linnavallin ym. (2017) tutkimuksessa. Tämän jälkeen verrattiin silmämääräisesti näiden neljän ryhmän herätevasteiden keskiarvovoimakkuuksia poikkeaville ärsykeille joko koko pään kahdeksan kanavan alueella (poikkeaman ja esilukutaidon yhdysvaikutus) tai erikseen vasemmalla ja oikealla kanava-alueella (kanava-alueen ja esilukutaidon yhdysvaikutus).

Tulevia, seurantatutkimushankkeen suuremmalla otoksella toteutettavia analyyseja ajatellen raportoidaan edellä kuvattujen kovarianssianalyysien lisäksi Pearsonin korrelaatiokertoimet koko otoksessa MMN- tai LDN-vasteiden voimakkuuksien vasemmalla ja oikealla kanava-alueella sekä esilukutaitomuuttujien välillä. Lisäksi MMN- ja LDN-vasteille laskettiin niin kutsuttu lateralisaatioindeksi (ks. esim. Spironelli & Angrilli, 2009) vähentämällä vasemman kanava-alueen voimakkuudesta oikean kanava-alueen voimakkuus erikseen jokaiselle lapselle, vasteelle ja poikkeamalle. Positiivinen arvo viittaa vasteen painottuvan oikealle ja negatiivinen arvo tarkoittaa vasteen olevan vasemmalla suurempi kuin oikealla. Jatkotutkimuksia ajatellen raportoidaan myös lateralisaatioindeksien ja esilukutaitomuuttujien väliset Pearsonin korrelaatiokertoimet koko otoksessa.

Lukivaikeuden riskin yhteyttä MMN- ja LDN-vasteiden voimakkuuteen sekä jakaumaan kahdella kanava-alueella tarkasteltiin toistettujen mittausten varianssianalyyseilla riski- ja verrokkiryhmässä siten, että lukivaikeusriski oli ryhmittelevänä tekijänä (2 vastetta eli yhteensä 2 testiä, joissa 2 yksilöiden sisäistä tekijää; 2 kanava-alueita, 5 poikkeavaa ärsykettä). Näissä malleissa tarkasteltiin lukivaikeusriskin päävaikutusta sekä yhdysvaikutuksia lukivaikeusriskin ja eri poikkeamille syntyvien MMN- tai LDN-vasteiden ja/tai vasteiden jakauman kanava-alueilla välillä. Poikkeaman tai kanava-alueen päävaikutusta ei näissä malleissa tarkasteltu ryhmien pienen otoskoon takia, ja koska erot näissä ryhmissä eri poikkeamille tai eri kanava-alueilla syntyvissä vasteissa eivät olleet tutkimuksen kohteena. Lukivaikeuden riskin yhteyttä esilukutaitomuuttujiin riski- ja verrokkiryhmässä selvitettiin yksisuuntaisilla varianssianalyyseilla, jossa lukivaikeusriski oli ryhmittelevänä tekijänä (6 esilukutaitoa eli yhteensä 6 testiä). Lukivaikeuden riskin yhteyttä Luku- ja kirjoitustaitokyselyn pisteisiin ei tarkasteltu, koska kysely oli palautunut vain kahdelta riskiryhmäläiseltä.

Efektikoon mittana toistettujen mittausten kovarianssi- ja varianssianalyyseissa laskettiin Etan neliö (η^2). Jos oletus sfäärisyydestä ei toistettujen mittausten kovarianssi- tai varianssianalyyseissa toteutunut, käytettiin Greenhouse-Geisser korjattuja p-arvoja. Useiden eri testien suorittamisen takia yhden otoksen t-testeistä ja korrelaatioanalyyseista raportoidaan Bonferroni-korjatut, mutta myös korjaamattomat p-arvot, koska testien suuren määrän ja pienen otoskoon vuoksi on odotettavaa, että tulokset eivät saavuta tilastollista merkitsevyyttä Bonferroni-korjauksen jälkeen. Korrelaatioanalyyseista kuitenkin kuvataan tekstissä vain korjausten jälkeen tilastollisesti merkitsevät tulokset.

3. Tulokset

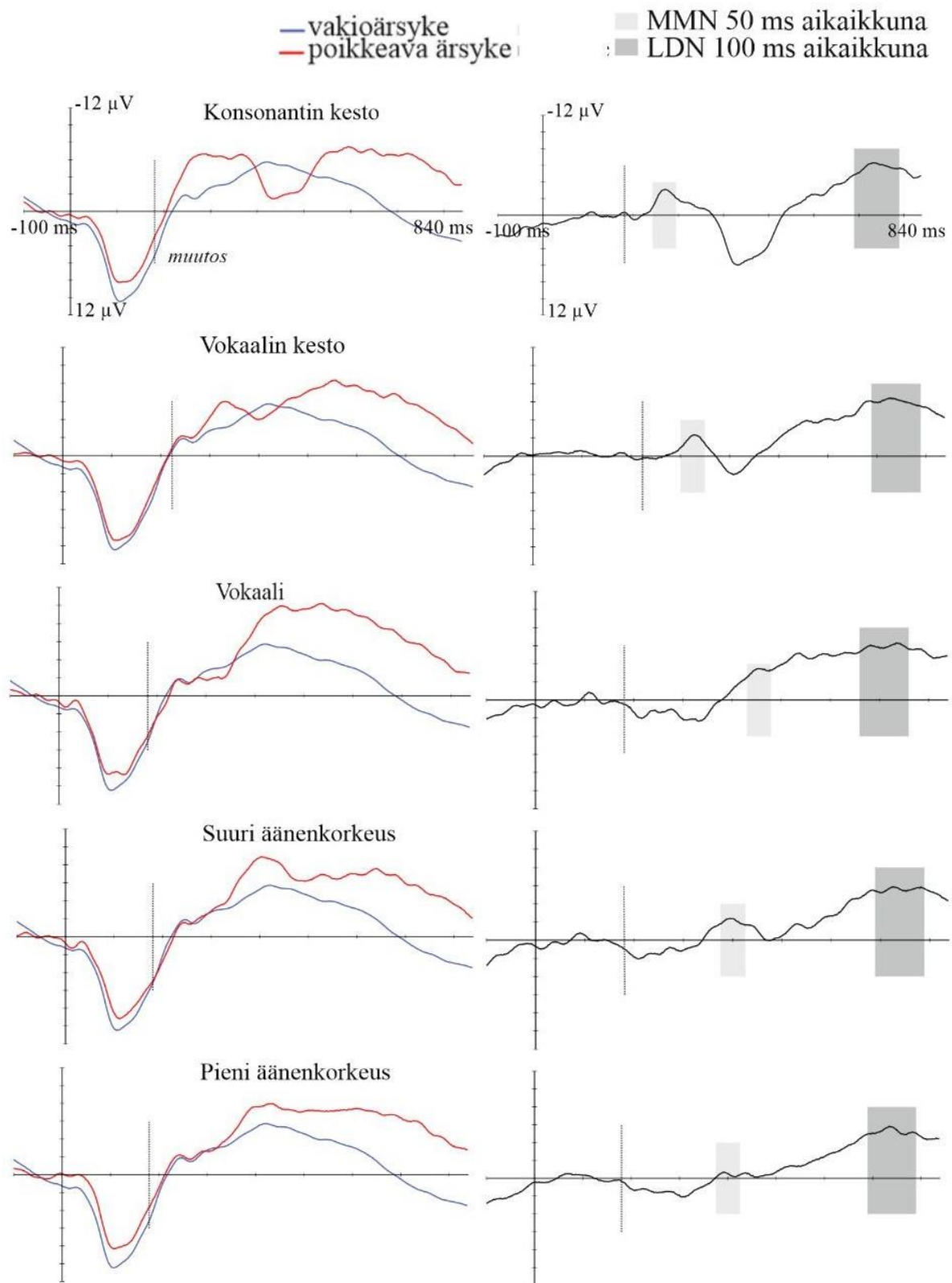
3.1 MMN- ja LDN-vasteiden merkitsevyys

MMN-vasteet koko otoksessa vokaalin, vokaalin keston ja konsonantin keston muutokselle olivat tilastollisesti merkitseviä molemmilla kanava-alueilla, ja MMN-vaste suurelle äänenkorkeuden muutokselle oli tilastollisesti merkitsevä oikealla kanava-alueella, kun testien merkitsevyystasoa ei ollut korjattu. Bonferroni-korjauksen jälkeen vain MMN-vasteet konsonantin keston ja vokaalin muutokselle oikealla kanava-alueella olivat tilastollisesti merkitseviä. LDN-vasteet kaikille muutoksille olivat tilastollisesti merkitseviä molemmilla kanava-alueilla myös Bonferroni-korjauksen jälkeen (Taulukko 2, Kuvat 3 ja 4). MMN-vasteelle havaittiin tilastollisesti merkitsevä kanava-alueen päävaikutus siten, että MMN-vaste yli kaikkien poikkeavien ärsykkeiden oli keskimäärin suurempi pään oikealla kuin vasemmalla puolella (Taulukko 3, Kuva 5).

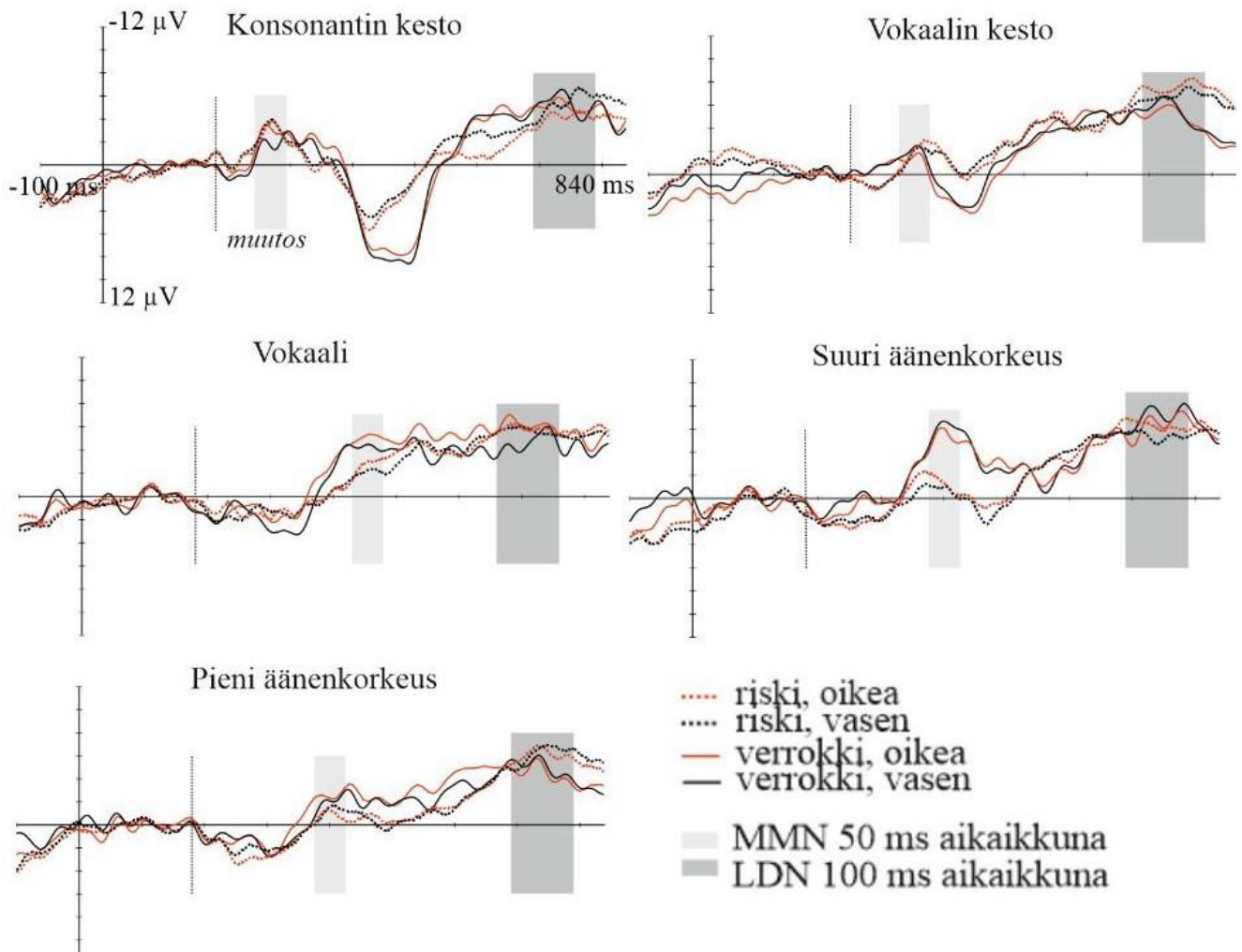
3.2 MMN- ja LDN-vasteiden voimakkuuksien yhteydet esilukutaitoihin

Toistettujen mittausten kovarianssianalyyseissa LDN-vasteella havaittiin poikkeaman ja RAN-suorituksen sekä poikkeaman ja Kirjaintuntemuksen tilastollisesti merkitsevät yhdysvaikutukset (Taulukko 4). Tarkasteltaessa heikosti, keskitasoisesti ja hyvin edellä mainituissa esilukutaidoissa suoriutuneiden LDN-vasteiden keskiarvoja (Taulukko 5), vokaalimuutokselle syntyvän LDN-vasteen voimakkuus oli keskiarvoltaan suurempi heikosti sekä RAN:ssa että Kirjaintuntemuksessa suoriutuvilla, ja pienelle äänenkorkeusmuutokselle syntyvän LDN-vasteen voimakkuus oli keskiarvoltaan suurempi heikosti RAN:ssa suoriutuvilla kuin näissä esilukutaidoissa paremmin suoriutuvilla lapsilla. Vokaalin keston muutokselle syntyvän LDN-vasteen voimakkuus oli keskiarvoltaan pienempi heikosti RAN:ssa suoriutuvilla ja suurelle äänenkorkeusmuutokselle syntyvän LDN-vasteen voimakkuus oli keskiarvoltaan pienempi heikosti Kirjaintuntemuksessa suoriutuvilla kuin näissä esilukutaidoissa paremmin suoriutuvilla lapsilla. Muille poikkeamille syntyvien LDN-vasteiden voimakkuus ei ollut keskiarvoltaan selvästi suurempi tai pienempi hyvin tai heikosti kyseisissä esilukutaidoissa suoriutuvilla.

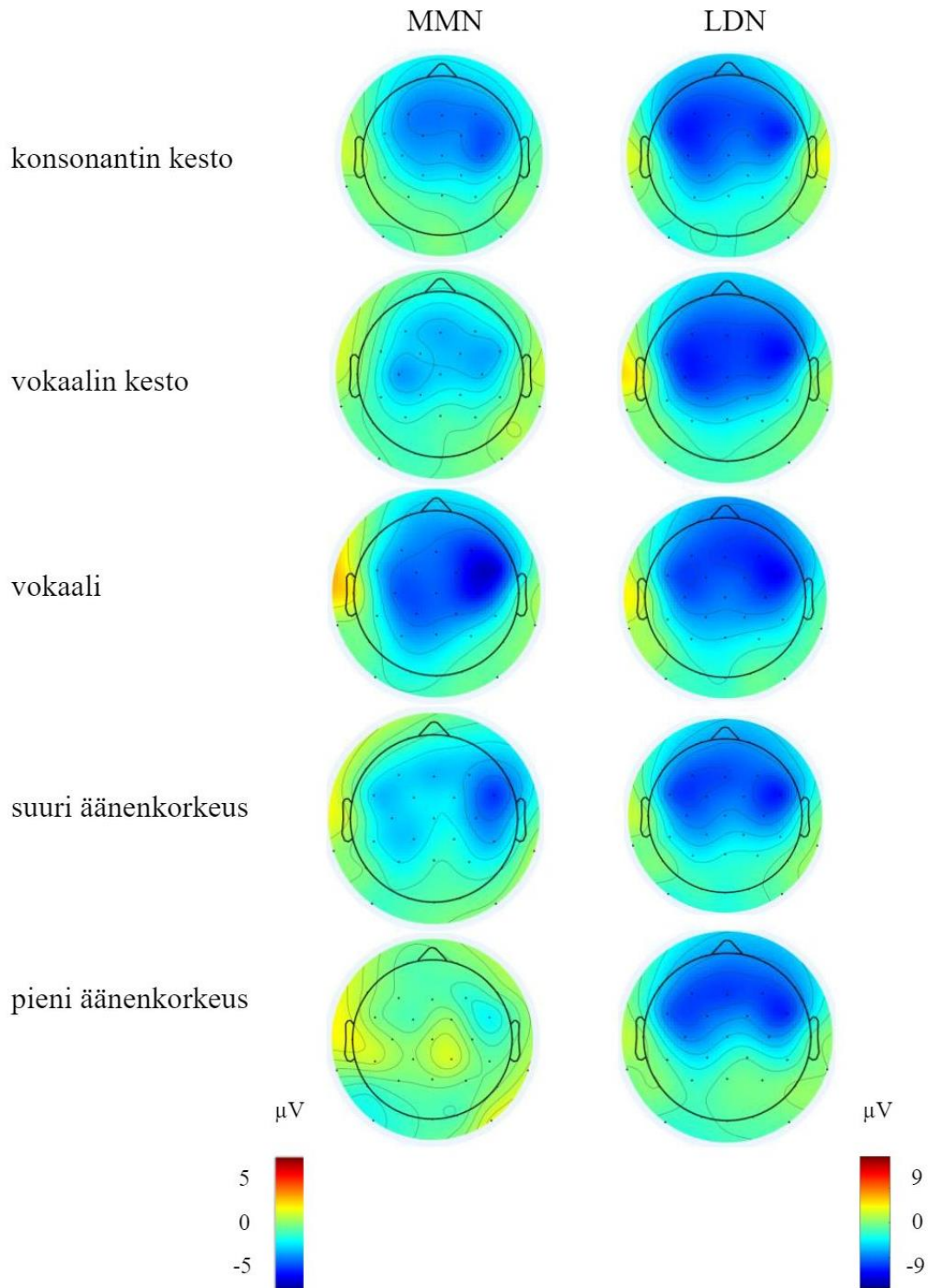
Vasemman ja oikean kanava-alueen MMN- ja LDN-vasteiden voimakkuuksien ja esilukutaitojen välisiä yhteyksiä tarkastelleissa korrelaatioanalyyseissa havaittiin oikealta mitatuilla herätevasteiden voimakkuuksilla muutamia yhteyksiä esilukutaitoihin, mutta tulokset eivät jääneet tilastollisesti merkitseviksi Bonferroni-korjausten jälkeen (Liite 2).



Kuva 3. Yli kaikkien lasten keskiarvoistetut herätevasteet vakio- ja poikkeaville ärsykeille (vasen sarake) ja erotuskäyrät (oikea sarake) koko otoksessa; keskiarvo vasemmalta ja oikealta kanava-alueelta. Herätevastekäyrissä perustaso on asetettu -100–0 ms:iin ja erotuskäyrissä ärsykemuutoksen alkuun eli pystykatkoviivan kohdalle kuvassa.



Kuva 4. Riski- (katkoviiva) ja verrokkiryhmiin (yhtenäinen viiva) kuuluvien lasten keskiarvoistetut erotuskäyrät eri poikkeaville ärsykeille keskiarvovasteista vasemmalla (F3, FC1, FC5, C3, musta viiva) ja oikealla (F4, FC2, FC6, C4, punainen viiva) kanava-alueella. Perustaso asetettu ärsykemuutoksen alkuun eli pystykatkoviiivan kohdalle kuvassa.



Kuva 5. MMN- ja LDN-vasteiden jakaumat pään pinnalla eri poikkeaville ärsykkeille. Jännitekeskiarvot on laskettu tutkimuksessa käytetyistä aikaikkunoista sekä vasenta että oikeaa kanava-aluetta käyttäen. Molemmilla herätevasteilla negatiivinen voimakkuus on keskittynyt pään etu-keskialueille.

Taulukko 2

MMN- ja LDN-vasteiden voimakkuudet (μV) poikkeaville ärsykeille vasemmalla (v) ja oikealla (o) kanava-alueella koko otoksessa ja ryhmäkohtaisesti sekä vasteiden merkitsevyyttä koko otoksessa kuvaavat t-testisuureet, korjaamattomat ja Bonferroni-korjatut p-arvot sekä efektikoko.

		Koko otos		Riski	Verrokki	t(22)	p	Bonfer- roni p	Cohenin d
		ka (kh)	vv	ka (kh)	ka (kh)				
MMN									
konsonantin kesto	v	-2.2 (3.2)	[-7.7, 4.9]	-3.0 (2.6)	-1.8 (2.7)	-3.28	< .01	.20	3.17
	o	-2.8 (2.5)	[-8.3, 1.2]	-2.8 (1.7)	-2.8 (2.7)	-5.33	< .001	.02	2.52
vokaalin kesto	v	-1.7 (2.5)	[-6.4, 2.5]	-1.7 (2.9)	-1.7 (2.0)	-3.31	< .01	.20	2.48
	o	-2.0 (3.2)	[-8.1, 4.0]	-2.1 (2.2)	-1.1 (2.4)	-2.95	.01	.20	3.18
vokaali	v	-2.5 (4.1)	[-11.0, 7.6]	-2.1 (2.8)	-4.2 (4.6)	-2.95	.01	.20	4.08
	o	-3.9 (4.5)	[-15.8, 2.4]	-2.7 (2.8)	-5.1 (6.0)	-4.19	< .001	.02	4.45
suuri äänenkorkeus	v	-1.7 (5.2)	[-13.3, 6.1]	-0.8 (5.0)	-6.0 (4.5)	-1.61	.12	1.0	5.15
	o	-2.4 (4.3)	[-10.2, 4.6]	-1.3 (5.3)	-5.3 (3.6)	-2.69	.01	.20	4.33
pieni äänenkorkeus	v	-0.2 (3.6)	[-9.3, 7.0]	-1.1 (3.3)	-1.9 (3.4)	-0.23	.82	1.0	3.55
	o	-0.6 (3.9)	[-8.1, 8.0]	-0.8 (4.0)	-2.5 (3.3)	-0.72	.48	1.0	3.90
LDN									
konsonantin kesto	v	-6.0 (4.1)	[-16.4, -0.4]	-5.4 (3.8)	-5.3 (3.3)	-7.07	< .001	.02	4.07
	o	-5.5 (4.1)	[-15.1, 0.7]	-4.1 (2.9)	-5.1 (4.2)	-6.45	< .001	.02	4.11
vokaalin kesto	v	-5.9 (4.3)	[-14.7, 0.4]	-6.9 (4.8)	-5.4 (3.2)	-6.68	< .001	.02	4.25
	o	-6.1 (4.4)	[-14.9, 3.0]	-7.6 (4.5)	-5.1 (4.2)	-6.67	< .001	.02	4.39
vokaali	v	-5.4 (3.5)	[-12.4, 3.4]	-5.7 (2.0)	-4.7 (4.1)	-7.41	< .001	.02	3.51
	o	-6.4 (3.8)	[-15.7, 0.6]	-5.9 (2.6)	-6.1 (4.3)	-8.07	< .001	.02	3.78
suuri äänenkorkeus	v	-5.5 (4.4)	[-15.8, 4.2]	-5.4 (3.8)	-7.1 (5.3)	-5.96	< .001	.02	4.40
	o	-5.7 (3.3)	[-12.6, 0.5]	-6.3 (3.6)	-6.4 (3.8)	-8.21	< .001	.02	3.31
pieni äänenkorkeus	v	-5.2 (2.9)	[-12.6, -1.2]	-6.1 (4.2)	-5.0 (1.6)	-8.55	< .001	.02	2.92
	o	-5.3 (3.7)	[-13.2, 1.4]	-6.1 (4.6)	-4.5 (3.4)	-6.81	< .001	.02	3.71

Huom. Ka = keskiarvo, kh = keskihajonta, vv = vaihteluväli. Tummennettuna $p < .05$ tasolla merkitsevät herätevasteet.

Taulukko 3

MMN- ja LDN-vasteiden voimakkuuksien erot kanava-alueilla ja eri poikkeamille syntyvien vasteiden erot kanava-alueilla (1) sekä lukivaikeuden riskin vaikutus herätevasteisiin (2). Raportoituna pää- ja yhdysvaikutusten vapausasteet (df), F-testisuureet, p-arvot ja efektikoko.

		df	F	p	η^2
MMN					
1.	Kanava-alue	1,22	6.36	.02	.22
	Kanava-alue \times poikkeama	3,74	1.18	.33	.05
2.	Lukivaikeusriski	1,12	1.62	.23	.12
	Kanava-alue \times lukivaikeusriski	1,12	0.00	1.00	.00
	Poikkeama \times lukivaikeusriski	2,28	1.78	.18	.13
	Kanava-alue \times poikkeama \times lukivaikeusriski	3,35	0.97	.41	.08
LDN					
1.	Kanava-alue	1,22	0.61	.45	.03
	Kanava-alue \times poikkeama	4,88	1.48	.21	.06
2.	Lukivaikeusriski	1,12	0.11	.75	.01
	Kanava-alue \times lukivaikeusriski	1,12	0.09	.77	.01
	Poikkeama \times lukivaikeusriski	4,48	0.70	.60	.06
	Kanava-alue \times poikkeama \times lukivaikeusriski	4,48	1.25	.31	.09

Huom. Tummennettuna $p < .05$ tasolla merkitsevät pää- ja yhdysvaikutukset.

Taulukko 4

LDN-vasteiden voimakkuuden ja päänpinnan jakauman yhteys esilukutaitoihin toistettujen mittausten kovarianssianalyysissä. Raportoituna pää- ja yhdysvaikutusten vapausasteet (df), F-testisuureet, p-arvot ja efektikoko.

	df	F	p	η^2
Äänteiden prosessointi				
esilukutaito	1,21	2.55	.13	0.11
kanava-alue × esilukutaito	1,21	0.47	.50	0.02
poikkeama × esilukutaito	4,84	1.03	.40	0.05
kanava-alue × poikkeama × esilukutaito	4,84	0.77	.55	0.04
Lauseiden toistaminen				
esilukutaito	1,20	0.88	.36	0.04
kanava-alue × esilukutaito	1,20	0.09	.77	0.01
poikkeama × esilukutaito	4,80	0.12	.97	0.01
kanava-alue × poikkeama × esilukutaito	4,80	2.46	.05	0.11
Kirjaintuntemus				
esilukutaito	1,21	0.03	.87	0.00
kanava-alue × esilukutaito	1,21	2.27	.15	0.10
poikkeama × esilukutaito	4,84	3.00	.02	0.13
kanava-alue × poikkeama × esilukutaito	4,84	0.73	.57	0.03
RAN				
esilukutaito	1,20	0.01	.93	0.00
kanava-alue × esilukutaito	1,20	2.09	.16	0.10
poikkeama × esilukutaito	4,80	2.60	.04	0.12
kanava-alue × poikkeama × esilukutaito	4,80	0.38	.83	0.02
Työmuisti (rp)				
esilukutaito	1,21	0.00	.99	0.00
kanava-alue × esilukutaito	1,21	0.72	.41	0.03
poikkeama × esilukutaito	4,84	1.00	.41	0.05
kanava-alue × poikkeama × esilukutaito	4,84	0.71	.59	0.03
Työmuisti (span)				
esilukutaito	1,21	0.02	.90	0.00
kanava-alue × esilukutaito	1,21	0.04	.84	0.00
poikkeama × esilukutaito	4,84	1.00	.41	0.05
kanava-alue × poikkeama × esilukutaito	4,84	0.68	.61	0.03
Kyselypisteet				
esilukutaito	1,10	0.60	.46	0.06
kanava-alue × esilukutaito	1,10	0.31	.59	0.03
poikkeama × esilukutaito	4,40	1.19	.33	0.11
kanava-alue × poikkeama × esilukutaito	4,40	1.05	.40	0.10

Huom. rp = raakapiste, span = maksimikapasiteetti. Tummennettuna $p < .05$ tasolla merkitsevät pää- ja yhdysvaikutukset.

Taulukko 5

Vasemman ja oikean kanava-alueen keskiarvo ja suluissa keskihajonta LDN-vasteen voimakkuudesta (μV) eri poikkeamille RAN- ja Kirjaintuntemus-osatestien suorituksen perusteella jaetuissa kvartiiliryhmissä (1. kvartiilissa parhaiten RAN:ssa / Kirjaintuntemuksessa suoriutuneet).

		konsonantin kesto	vokaalin kesto	vokaali	suuri äänenkorkeus	pieni äänenkorkeus
RAN	1. (n = 5)	-5.31 (4.02)	-6.56 (5.94)	-3.36 (3.20)	-4.73 (3.63)	-3.56 (2.17)
	2. (n = 6)	-5.88 (3.01)	-5.61 (3.26)	-4.74 (2.91)	-6.56 (4.35)	-5.67 (4.41)
	3. (n = 6)	-4.82 (2.32)	-5.91 (2.12)	-7.05 (2.29)	-6.90 (2.89)	-5.53 (3.80)
	4. (n = 5)	-5.86 (6.21)	-4.43 (4.91)	-7.38 (4.37)	-3.15 (3.71)	-6.03 (1.60)
Kirjaintuntemus	1. (n = 5)	-8.94 (1.25)	-7.98 (2.67)	-5.56 (1.20)	-9.02 (2.77)	-5.59 (5.01)
	2. (n = 6)	-3.63 (2.46)	-4.17 (5.70)	-4.10 (1.49)	-4.12 (2.28)	-4.69 (2.28)
	3. (n = 6)	-3.54 (2.40)	-4.28 (2.12)	-5.14 (4.78)	-5.13 (4.28)	-3.97 (2.14)
	4. (n = 6)	-7.49 (5.55)	-7.94 (4.51)	-8.73 (3.72)	-4.60 (3.80)	-6.79 (2.88)

Huom. n = otoskoko.

3.3 MMN- ja LDN-vasteiden päänpinnan jakaumien yhteydet esilukutaitoihin

Toistettujen mittausten kovarianssianalyseissa MMN-vasteella havaittiin tilastollisesti merkitsevä kanava-alueen ja RAN-suorituksen yhdysvaikutus yli poikkeavien ärsykkeiden (Taulukko 6). RAN:ssa heikosti suoriutuvilla kaikille muutoksille syntyvien MMN-vasteiden voimakkuus oli suurempi oikealla kuin vasemmalla kanava-alueella, kun taas siinä hyvin suoriutuvilla MMN-vasteet olivat pääasiassa suurempia vasemmalla kuin oikealla (Taulukko 7).

Herätevasteiden lateralisaatioindeksien ja esilukutaitojen välisiä yhteyksiä tarkastelleissa korrelaatioanalyseissa päänpinnalla vasemmalle painottuneet vasteet olivat yhteydessä parempaan suoritukseen muutamissa esilukutaidoissa, mutta tulokset eivät jääneet tilastollisesti merkitseviksi Bonferroni-korjausten jälkeen (Liite 3).

Taulukko 6

MMN-vasteiden voimakkuuden ja päänpinnan jakauman yhteys esilukutaitoihin toistettujen mittausten kovarianssianalyysissä. Raportoituna pää- ja yhdysvaikutusten vapausasteet (df), F-testisuureet, p-arvot ja efektikoko.

	df	F	p	η^2
Äänteiden prosessointi				
esilukutaito	1,21	1.46	.24	0.07
kanava-alue × esilukutaito	1,21	0.12	.74	0.01
poikkeama × esilukutaito	3,61	0.27	.84	0.01
kanava-alue × poikkeama × esilukutaito	3,70	0.34	.82	0.02
Lauseiden toistaminen				
esilukutaito	1,20	1.55	.23	0.07
kanava-alue × esilukutaito	1,20	0.03	.87	0.00
poikkeama × esilukutaito	3,55	1.23	.31	0.06
kanava-alue × poikkeama × esilukutaito	3,67	2.47	.06	0.11
Kirjaintuntemus				
esilukutaito	1,21	0.62	.44	0.03
kanava-alue × esilukutaito	1,21	1.64	.22	0.07
poikkeama × esilukutaito	3,58	1.17	.33	0.05
kanava-alue × poikkeama × esilukutaito	3,67	2.01	.12	0.09
RAN				
esilukutaito	1,20	0.66	.43	0.03
kanava-alue × esilukutaito	1,20	4.89	.04	0.20
poikkeama × esilukutaito	3,54	0.87	.45	0.04
kanava-alue × poikkeama × esilukutaito	3,67	0.44	.75	0.02
Työmuisti (<i>rp</i>)				
esilukutaito	1,21	0.37	.55	0.02
kanava-alue × esilukutaito	1,21	0.47	.50	0.02
poikkeama × esilukutaito	3,59	1.19	.32	0.05
kanava-alue × poikkeama × esilukutaito	3,68	1.44	.24	0.06
Työmuisti (<i>span</i>)				
esilukutaito	1,21	0.46	.51	0.02
kanava-alue × esilukutaito	1,21	1.32	.26	0.06
poikkeama × esilukutaito	3,60	0.70	.55	0.03
kanava-alue × poikkeama × esilukutaito	3,70	1.73	.16	0.08
Kyselypisteet				
esilukutaito	1,10	0.10	.76	0.01
kanava-alue × esilukutaito	1,10	1.74	.22	0.15
poikkeama × esilukutaito	4,40	1.59	.20	0.14
kanava-alue × poikkeama × esilukutaito	4,40	0.48	.75	0.05

Huom. *rp* = raakapiste, *span* = maksimikapasiteetti. Tummennettuna $p < .05$ tasolla merkitsevät pää- ja yhdysvaikutukset.

Taulukko 7

Vasemmalta (v) ja oikealta (o) kanava-alueelta mitattujen MMN-vasteiden voimakkuuksien (μV) keskiarvot ja suluissa keskihajonnat eri poikkeaville ärsykeille RAN-suorituksen perusteella jaetuissa kvartiiliryhmissä (1. kvartiilissa parhaiten suoriutuneet).

			konsonantin kesto	vokaalin kesto	vokaali	suuri äänenkorkeus	pieni äänenkorkeus
RAN	1. (n = 5)	v	-2.23 (3.87)	-2.21 (3.12)	-1.45 (2.62)	-2.85 (5.60)	-1.31 (5.15)
		o	-1.98 (2.63)	-2.32 (3.20)	-0.84 (1.74)	-2.67 (4.96)	-1.57 (5.32)
	2. (n = 6)	v	-2.27 (1.68)	-2.04 (3.06)	-4.96 (3.01)	-3.88 (4.97)	0.60 (4.82)
		o	-2.51 (2.03)	-3.03 (2.82)	-5.61 (3.01)	-5.36 (5.34)	0.22 (5.58)
	3. (n = 6)	v	-2.46 (4.26)	-1.50 (2.58)	-0.82 (6.53)	-0.66 (7.06)	0.70 (2.47)
		o	-3.94 (2.87)	-0.17 (2.88)	-4.19 (6.57)	-0.46 (4.01)	0.27 (2.96)
	4. (n = 5)	v	-1.15 (3.33)	-1.32 (1.72)	-2.68 (2.27)	0.14 (2.20)	-0.87 (1.38)
		o	-2.07 (2.68)	-2.83 (4.04)	-4.27 (4.89)	-1.45 (1.39)	-1.50 (1.17)

Huom. n = otoskoko.

3.4 Lukivaikeuden riskin vaikutus herätevasteisiin ja esilukutaitoihin

Riski- ja verrokkiryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja MMN- tai LDN-vasteiden voimakkuudessa tai päänpinnan jakaumassa (Taulukko 3). Esilukutaidoissa suoriutumisessa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa riski- ja verrokkiryhmän välillä (Taulukko 8).

Taulukko 8

Esilukutaidoissa suoriutuminen ja pisteet Luku- ja kirjoitustaitokyselyssä koko otoksessa sekä riski- ja verrokkiryhmässä. Lisäksi raportoituna riski- ja verrokkiryhmän erojen merkitsevyyttä kuvaavat F-testisuureet, p-arvot ja efektikoko. Ryhmäeroja kyselyssä ei tarkasteltu, koska se palautui vain kahdelta riskiryhmäläiseltä.

	Koko otos		Riski	Verrokki	F(df*)	p	η^2
	ka (kh)	vv	ka (kh)	ka (kh)			
Äänteiden prosessointi (sp)	10.7 (1.0)	[9.0, 12.0]	10.3 (1.0)	10.7 (1.1)	.60	.45	.05
Lauseiden toistaminen (sp)	9.4 (2.5)	[4.0, 14.0]	9.7 (2.7)	9.2 (2.5)	.14	.71	.01
Kirjaintuntemus (lkm)	11.1 (7.3)	[1.0, 23.0]	8.9 (7.6)	13.9 (7.6)	1.53	.24	.11
RAN (aika, s)	49.1 (11.5)	[33.0, 73.0]	48.0 (8.9)	40.7 (6.2)	3.14	.10	.21
Työmuisti (rp)	6.8 (1.9)	[4.0, 11.0]	6.9 (2.3)	7.6 (2.1)	.37	.56	.03
Työmuisti (span)	3.9 (1.0)	[2.0, 6.0]	4.0 (1.3)	4.1 (0.9)	.06	.81	.01
Kyselypisteet (maksimi 46 pistettä)	16.5 (4.8)	[9.0, 23.5]					

*Lauseiden toistamisessa vapausasteet 1,11, muissa 1,12.

Huom. ka = keskiarvo, kh = keskihajonta, vv = vaihteluväli, sp = standardipiste, lkm = lukumäärä, s = sekunti, rp = raakapiste, span = maksimikapasiteetti.

4. Pohdinta

Tämän pro gradu -tutkielman tavoitteena oli selvittää kuinka puheäänivirrassa esiintyvien poikkeamien synnyttämät MMN- ja LDN-vasteet ovat yhteydessä noin neljän vuoden ja seitsemän kuukauden ikäisten lasten suoriutumiseen esilukutaidoissa. Lisäksi selvitettiin lukivaikeuden riskin vaikutusta herätevasteisiin ja esilukutaitoihin. Ensimmäisenä hypoteesina oli, että kaikille puheäänivirran poikkeamille syntyy sekä MMN- että LDN-vaste, jotka painottuvat päänpinnalla vasemmalle. Toiseksi odotettiin, että suuret vasteet ovat yhteydessä parempaan suoritukseen esilukutaidoissa. Kolmanneksi päänpinnalla vasemmalle painottuvien vasteiden odotettiin olevan yhteydessä parempaan suoritukseen esilukutaidoissa. Neljäs hypoteesi oli, että MMN- ja LDN-vasteet ovat pienempiä ja painottuvat enemmän pään oikealle puolelle lapsilla, joilla on riski lukivaikeudelle ja että nämä lapset suoriutuvat esilukutaidoissa heikommin kuin verrokkit.

Ensimmäisen hypoteesin vastaisesti kaikille puheäänten poikkeamille ei syntynyt tilastollisesti merkitsevää MMN-vastetta, mutta kaikki LDN-vasteet olivat tilastollisesti merkitseviä. Jälleen hypoteesin vastaisesti MMN-vasteet painoutuivat oikealle ja LDN-vasteilla painottumista pään kummallekaan puolelle ei havaittu. Toisen hypoteesin suhteen tulokset olivat ristiriitaisia. LDN-vasteet vokaalimuutokselle olivat keskimäärin suurempia heikosti RAN:ssa ja Kirjaintuntemuksessa suoriutuvilla, ja LDN-vaste pienelle äänenkorkeuden muutokselle oli suurempi heikosti RAN:ssa suoriutuvilla lapsilla kuin näissä esilukutaidoissa paremmin suoriutuvilla. Toisaalta LDN-vaste vokaalin keston muutokselle oli suurempi hyvin RAN:ssa suoriutuvilla ja LDN-vaste suurelle äänenkorkeuden muutokselle oli suurempi hyvin Kirjaintuntemuksessa suoriutuvilla kuin näissä esilukutaidoissa heikommin suoriutuvilla lapsilla. Kolmannen hypoteesin mukaisesti MMN-vasteiden keskiarvovoimakkuus yli kaikkien muutosten oli oikealla suurempi niillä, jotka suoriutuivat heikosti RAN:ssa, kun taas siinä hyvin suoriutuvilla MMN-vasteet olivat pääasiassa suurempia vasemmalla. Herätevasteiden voimakkuuden ja lateralisaatioindeksien sekä esilukutaitojen yhteyttä tarkastelleissa korrelaatioanalyysissä yhteydet eivät olleet tilastollisesti merkitseviä Bonferroni-korjausten jälkeen. Neljännen hypoteesin vastaisesti lukivaikeuden riskillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta herätevasteisiin tai esilukutaidoissa suoriutumiseen, joskin otoskoko verrattavissa ryhmissä oli hyvin pieni vaikeuttaen tilastollisesti merkitsevien ryhmäerojen löytymistä.

4.1 Poikkeavien ärsykkeiden esitietoinen erottelu

Tutkimuksessa tarkasteltiin MMN- ja LDN-vasteita vokaalin ja konsonantin keston, äänenkorkeuden sekä vokaalin muutoksille. Bonferroni-korjauksen jälkeen kaikille muutoksille syntyivät LDN-vasteet molemmilla pään puolilla, mutta vain pään oikealta puolelta mitatut MMN-vasteet vokaalimuutokselle ja konsonantin keston muutokselle olivat tilastollisesti merkitseviä. Koko otoksessa MMN-vasteet yli

kaikkien muutosten olivat suurempia päänpinnan oikealla kuin vasemmalla puolella, mutta vasteiden painottumisen oikealle saivat aikaan ennen kaikkea oikealla mitatut suuret vasteet konsonantin keston, vokaalin ja äänenkorkeuden suurelle muutokselle. MMN-vasteiden painottuminen oikealle voi johtua siitä, että suurella osalla lapsista oli lukivaikeusriski (ks. esim. Ozernov-Palchik & Gaab, 2016). LDN-vasteiden voimakkuudessa vasemmalla ja oikealla ei havaittu eroa.

Pienelle äänenkorkeusmuutokselle syntyvät MMN-vasteet olivat hyvin pieniä ja eivät todennäköisesti siksi saavuttaneet tilastollista merkitsevyyttä edes korjaamattomissa analyyseissa. Kyseiselle muutokselle syntyvän MMN-vasteen pieni koko on linjassa sen kanssa, että MMN-vasteen voimakkuus on aiemminkin heijastanut poikkeaman suuruutta sekä äänten erottelun haastavuutta (Čeponienė ym., 2003). Myös lukivaikeusriski suurella osalla lapsista voi vaikuttaa siihen, että MMN-vasteet äänenkorkeusmuutoksille eivät saavuttaneet tilastollista merkitsevyyttä, vaikka tilastollisesti merkitseviä eroja riski- ja verrokkiryhmän herätevasteissa ei havaittu. Joskus etenkin äänenkorkeusmuutoksen erottaminen on osoittautunut poikkeavaksi niillä, joilla on lukivaikeusriski (Hämäläinen ym., 2015; Maurer ym., 2003), joskin näissä tutkimuksissa tarkasteltiin vain pienentyneitä LDN-vasteita. Lisäksi 4–5-vuotiailla nähdään vielä toisinaan positiivisia vasteita MMN-vasteiden sijaan (Chen ym., 2016; Shafer ym., 2010), mikä havaittiin myös tässä otoksessa tarkasteltaessa yksilötason vasteita. Polariteettieroista aiheutuva suuri hajonta MMN-vasteissa sekä pieni otoskoko saattoivat myös osaltaan vaikuttaa siihen, että kaikille muutoksille syntyvät MMN-vasteet eivät saavuttaneet tilastollista merkitsevyyttä. Tästä huolimatta kaikki MMN-vasteet pidettiin kaikissa analyyseissa mukana, koska jatkotutkimuksia ajatellen haluttiin selvittää, mikäli yhteyksiä esilukutaitoihin kuitenkin löytyisi, kuten aiemmissa tutkimuksissa (Kuuluvainen ym., 2016; Linnavalli ym., 2017).

4.2 Herätevasteiden voimakkuuden yhteys esilukutaidoissa suoriutumiseen

LDN-vasteiden voimakkuus oli yhteydessä nopeaan sarjalliseen nimeämiseen ja kirjaintuntemukseen, mikä viittaa siihen, että puheäänten erottelukyvyn tarkkuus heijastuen LDN-vasteiden suuruudessa on yhteydessä suoriutumiseen esilukutaidoissa. Sekä nopeassa sarjallisessa nimeämisessä että kirjaintuntemuksessa heikosti suoriutuvilla LDN-vasteet vokaalimuutokselle olivat keskimäärin suurempia, ja nopeassa sarjallisessa nimeämisessä heikosti suoriutuvilla myös LDN-vasteet pienelle äänenkorkeusmuutokselle olivat suurempia kuin näissä esilukutaidoissa paremmin suoriutuvilla lapsilla. Suurten LDN-vasteiden yhteyttä heikkoihin esilukutaitoihin ei aiemmin ole havaittu, mutta aiemmissa tutkimuksissa suuret LDN-vasteet on liitetty erityisesti pieniin lapsiin, koska vasteet pienenevät iän myötä (Bishop ym., 2011; Linnavalli ym., 2018), vaikeasti erotettaviin muutoksiin (Bishop ym., 2011; Čeponienė ym., 2004) sekä lukutaitojen haasteisiin tai lukivaikeusriskiin (Hämäläinen ym., 2015; Maurer ym., 2003). Siten suuret LDN-vasteet saattavat viitata ongelmiin

vokaalimuutoksen ja pienen äänenkorkeusmuutoksen käsittelyssä, jolloin yhteys heikompaan suoritukseen esilukutaidoissa on johdonmukainen.

LDN-vasteiden voimakkuudet eri poikkeamille olivat pääasiassa suuria heikosti esilukutaidoissa suoriutuvilla, mutta LDN suurelle äänenkorkeuden muutokselle oli keskimäärin suurempi hyvin kirjaintuntemuksessa suoriutuvilla ja LDN vokaalin keston muutokselle oli suurempi hyvin nopeassa sarjallisessa nimeämisessä suoriutuvilla kuin näissä esilukutaidoissa heikosti suoriutuvilla lapsilla. Toisaalta erot vokaalin keston muutokselle syntyvän LDN-vasteen keskiarvovoimakkuudessa paremmin ja heikommin suoriutuvien lasten välillä eivät olleet kovin suuria. Nämä tulokset suurten LDN-vasteiden yhteydestä parempiin esilukutaitoihin ovat ristiriidassa yllä esitettyyn, mutta tämän suuntaisia yhteyksiä on aiemminkin havaittu (Hong ym., 2018; Hämäläinen ym., 2015). Näissä aiemmissa tutkimuksissa suuri LDN-vaste siniäänen korkeuden muutokselle oli yhteydessä parempaan kielelliseen lyhytkestoiseen muistiin ja nopeaan sarjalliseen nimeämiseen (Hämäläinen ym., 2015), ja suuri LDN-vaste konsonantin muutokselle oli yhteydessä parempaan fonologiseen tietoisuuteen (Hong ym., 2018).

Yhteyksiä MMN-vasteiden voimakkuuden ja esilukutaitojen välillä ei tässä tutkimuksessa havaittu. Tulos on ristiriidassa aiempiin tutkimuksiin nähden, joissa MMN-vasteet ovat olleet yhteydessä lapsen kielellisiin taitoihin. Suuret MMN-vasteet ovat olleet yhteydessä parempiin esilukutaitoihin (Linnavalli ym., 2017) ja lapsilla, joilla on lukutaitojen haasteita tai riski niille MMN-vasteet ovat olleet normaalia pienempiä tai ne puuttuvat kokonaan (Kujala & Leminen, 2017; Lee, 2019; Lovio ym., 2010). Yhteyksien puute tässä tutkimuksessa MMN-vasteiden voimakkuuksien ja esilukutaitojen välillä johtuu todennäköisesti siitä, että valtaosa MMN-vasteista ei etenkään Bonferroni-korjauksen jälkeen saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä.

Tässä tutkimuksessa herätevasteiden voimakkuuden yhteydet esilukutaitoihin havaittiin pääosin vokaalimuutokselle ja äänenkorkeusmuutoksille syntyvillä vasteilla. Näiden muutosten hermostollista käsittelyä voidaankin pitää merkittävänä kieli- ja lukutaidon kannalta, koska vokaalimuutoksen käsittely liittyy suoraan äänteiden käsittelyyn, oman äidinkielen äännekategorioiden oppimiseen sekä toisaalta äänteiden käsittelyn haasteisiin, joita pidetään merkittävänä mekanismina lukivaikeuden taustalla (Hulme & Snowling, 2016; Ramus, 2014; Snowling & Melby-Lervåg, 2016). Äänenkorkeuden erottaminen puolestaan on keskeistä puhevirran jakamisessa äänteiksi (esim. Foxton ym., 2003). Äänenkorkeusmuutosten erottaminen on aiemminkin ollut yhteydessä lapsen esikielellisiin kykyihin (Kailaheimo-Lönnqvist ym., 2020) ja esilukutaitoihin (Hämäläinen ym., 2015), ja kyseisen muutoksen käsittelyn on havaittu poikkeavan lapsilla, joilla on riski lukivaikeudelle (Hämäläinen ym., 2015; Maurer ym., 2003).

Puheäänten hermostollisen erottelutarkkuuden yhteydet havaittiin kirjaintuntemukseen ja nopeaan sarjalliseen nimeämiseen, joskin korjaamattomissa korrelaatioanalyysissä saatiin viitteitä sekä MMN-että LDN-vasteiden yksittäisistä yhteyksistä myös kielelliseen lyhytkestoiseen muistiin ja fonologiseen tietoisuuteen. Kirjaintuntemusta arvioitaessa lapsen tuli tunnistaa esitettyjen kirjainten nimet tai niitä vastaavat äänteet (Puolakanaho ym., 2011). Huomioiden yllä esitetyn äänne- ja äänenkorkeusmuutosten erottamisen merkityksen äänteiden erottelussa on johdonmukaista, että kyseisten muutosten hermostollinen käsittely on yhteydessä kirjainten ja äänteiden kategorisointiin myös tietoisesti. Vaikka vielä 4–5-vuotiailla nopea sarjallinen nimeäminen ei aina ole ollut yhteydessä lukutaitoon (Maurer ym., 2009), havaittiin tässä tutkimuksessa vaihtelun kyseisessä taidossa jo tässä iässä heijastuvan puheäänten hermostolliseen erotteluun. Nopea sarjallinen nimeäminen edellyttää useiden eri kognitiivisten toimintojen yhteistoimintaa, mutta yhteyttä puheen hermostolliseen erotteluun selittää erityisesti tehtävässä vaadittu muistista haettavaan sanaan liittyvän äänteellisen tiedon nopea mieleen palauttaminen (Wolf ym. 2000). Tarvittavaan sanaan liittyvien äänteiden mieleen palauttaminen ja sitä seuraava sanan artikulointi on oletettavasti helpompaa, kun äänteiden erottelu on tarkkaa, ja toisaalta yhteys toimii oletettavasti myös toisinpäin.

Puheäänten hermostollisen erottelutarkkuuden yhteyttä fonologiseen tietoisuuteen ei havaittu, toisin kuin useissa aiemmissa tutkimuksissa (Hong ym., 2018; Leppänen ym., 2010; Linnavalli ym., 2017). Fonologista tietoisuutta arvioitiin Äänteiden prosessoinnin osatestillä, jossa tarkastellaan lapsen kykyä käsitellä puheäänteitä ja äännerakennetta sanoissa (Korkman ym., 2008). Lapset olivat muutaman kuukauden alle viisivuotiaita, joten heille ei tehty osatestin vaikeampia osioita, joissa muodostetaan uusia sanoja äänteiden tai sanan osien korvaantuessa. Kaikki lapset suoriutuivatkin osatestissä keskitasoisesti, joten se ei mahdollisesti erotellut lasten osaamista fonologisessa tietoisuudessa kovin hyvin. Tämä saattaa selittää sen, että fonologisen tietoisuuden yhteyksiä puheäänten hermostolliseen erotteluun ei havaittu. Yhteyksiä puheäänten hermostollisen erottelun ja kielellisen lyhytkestoisen muistin välillä ei myöskään havaittu. Puheäänten hermostollinen erottelu ei välttämättä ole yhtä keskeisesti yhteydessä kielelliseen lyhytkestoiseen muistiin kuin muihin esilukutaitoihin, koska kyseinen taito kielellisen kyvykkyyden ohella edellyttää oletettavasti tarkkoja muistitoimintoja.

Puheäänten hermostollisella erottelulla ei ollut yhteyttä vanhemman arvioon lapsen esilukutaidoista Luku- ja kirjoitustaitokyselyssä. Kysely palautui noin puolelta lapsista, joten tilastollista voimaa ei todennäköisesti ollut riittävästi mahdollisten yhteyksien löytymiseksi. Vanhemman arvio lapsen esilukutaidoista antaa arvokasta tietoa lapsen osaamisesta arjen erilaisissa tilanteissa, ja on siten tärkeää täydentävää tietoa yhdessä tutkimustilanteessa ja yhdessä ajanhetkessä arvioidun testisuoriutumisen rinnalla. Näin ollen jatkossa tulisi selvittää suuremmassa otoksessa vanhemman arvion lapsen

esilukutaidoista yhteyttä puheen hermostolliseen käsittelyyn sekä esilukutaitoihin neuropsykologisilla testimenetelmillä arvioituna.

4.3 Herätevasteiden päänpinnan jakaumien yhteydet esilukutaidoissa suoriutumiseen

MMN-vasteiden päänpinnan jakauma oli yhteydessä suoriutumiseen nopeassa sarjallisessa nimeämisessä siten, että siinä heikosti suoriutuvilla vasteet kaikille muutoksille painottuivat päänpinnalla oikealle, kun taas hyvin suoriutuvilla MMN-vasteet olivat pääosin suurempia vasemmalla. Tulokset ovat linjassa aiempien tutkimusten kanssa, joissa vasemmalle painottuvien kuuloherätevasteiden puheäänille on havaittu olevan yhteydessä parempiin esilukutaitoihin (Guttorm ym., 2009; Kuuluvainen ym., 2016). Aiemmin on osoitettu, että puheäänten ja muiden akustisesti vastaavien äänten käsittelystä vastaavat ainakin osin erilliset verkostot kuuloaivokuorella (Kuuluvainen ym., 2014), ja puheäänten muutosten erottaminen on tehostuneempaa kuin näiden muiden äänten muutosten erottelu jo leikki-iässä (suuremmat ja varhaisemmat MMN-vasteet puheäänten kuin muiden äänten muutoksille, Kuuluvainen ym., 2016). Puheelle ominaisten nopeiden ajallisten muutosten, kuten äänteiden ja niiden keston muutosten käsittely painottuu yleensä vasemmalle aivopuoliskolle (Kuuluvainen ym., 2014; Tervaniemi & Hugdahl, 2003), joskin vokaalimuutoksen on havaittu aktivoivan alueita myös jonkin verran oikealla aivopuoliskolla (Kuuluvainen ym., 2014). Tyypillisesti hermostolliset edustukset tai niin kutsutut muistijäljet oman äidinkielen puheäänteistä muodostavat äännejärjestelmän, joka paikantuukin juuri vasemman aivopuoliskon kuuloaivokuorelle (Kuuluvainen ym., 2014; Kuuluvainen ym., 2016), sillä vain oman äidinkielen äännemuutoksille syntyvien MMN-vasteiden on havaittu painottuvan vasemmalle aivopuoliskolle (Näätänen ym., 1997). Sen sijaan äänenkorkeus- ja intensiteettimuutosten käsittely painottuu yleensä oikealle aivopuoliskolle (Kuuluvainen 2014; Sammler, Grosbras, Anwender, Bestelmeyer & Belin, 2015; Tervaniemi & Hugdahl, 2003), joskin vielä esikouluiässä intensiteettimuutosten erottelun on toisinaan havaittu painottuvan vasemmalle aivopuoliskolle (Kuuluvainen ym., 2016).

Lukivaikeuteen ja sen riskiin on liitetty puheen käsittely epätyypillisesti oikeassa aivopuoliskossa (Ozernov-Palchik & Gaab, 2016) sekä äännejärjestelmän puutteet äänteiden saatavuudessa (engl. *phonological access*; Ramus & Szenkovits, 2008) tai äännekategorioiden tarkkuudessa (Noordenbos & Serniclaes, 2015). Näin ollen aivopuoliskojen toiminnallisen työnjaon epätyypillisuus saattaa olla keskeinen mekanismi lukivaikeuden ja siihen liitettyjen fonologisen prosessoinnin haasteiden taustalla (Hulme & Snowling, 2016; Ramus, 2014; Snowling & Melby-Lervåg, 2016). Puheen käsittelyyn erikoistuneiden aivoalueiden ja tämän äännejärjestelmän kehittymättömyys saattavat siten olla yhteydessä myös heikkoihin esilukutaitoihin. Tässä tutkimuksessa vokaalin ja äänteiden keston muutosten erottelu painottui epätyypillisesti oikealle aivopuoliskolle nopeassa sarjallisessa

nimeämisessä heikosti suoriutuvilla lapsilla, mikä tukee äännejärjestelmän kehittyneisyyden merkitystä esilukutaitojen hankkimisen kannalta.

MMN-vasteiden päänpinnan jakauman yhteydet havaittiin vain nopeaan sarjalliseen nimeämiseen, mitä todennäköisesti selittää jo yllä esitetty äännejärjestelmän paikantuminen vasemmalle aivopuoliskolle ja äänteellisen tiedon nopea mieleen palauttaminen, mitä juuri tässä esilukutaidossa vaaditaan (Wolf ym., 2000). MMN-vasteiden jakauman ja muiden esilukutaitojen yhteyksien puutetta selittävät luultavasti jo aiemmin mainitut seikat, kuten vähäinen vaihtelu fonologista tietoisuutta arvioivassa osatestissä sekä puheäänten erottelun vähäisempi merkitys kielelliselle lyhytkestoiselle muistille.

Koska tässä tutkimuksessa käytettiin poikkileikkausasetelmaa, ei voida luotettavasti tehdä päätelmiä vallitsevista syy-seuraussuhteista ilmiöiden välillä. Seurantatutkimuksen myöhemmissä vaiheissa jää selvitettäväksi ennustavatko seurannan eri ikävaiheissa mitatut herätevasteet lukemista ja kielellisiä taitoja myöhemmin (Kailaheimo-Lönnqvist ym., 2020). Tästä huolimatta tulokset tukevat puheen hermostollisen käsittelyn merkitystä esilukutaitojen kehityksessä, joten lapsen kuulokyvyt ja äidinkielen äännekategorioiden omaksuminen ovat tärkeitä vahvistettavia osa-alueita lukutaidon oppimista tuettaessa.

4.4 Lukivaikeuden riskin vaikutus herätevasteisiin ja suoriutumiseen esilukutaidoissa

Aiempaan näyttöön nähden ristiriitaisesti (Hämäläinen ym., 2015; Lovio ym., 2010; Maurer ym., 2003; Neuhoﬀ ym., 2012; Ozernov-Palchik & Gaab, 2016; Snowling & Melby-Lervåg, 2016) lukivaikeuden riskillä ei ollut vaikutusta herätevasteiden voimakkuuteen, jakaumiin tai esilukutaitoihin. Vain osalla lapsista, joilla on perhetaustainen lukivaikeusriski, todetaan myöhemmin ongelmia lukemaan oppimisessa (Snowling, Gallagher & Frith, 2003). Edellä mainittu syy sekä pienet otoskoot ryhmissä todennäköisesti selittävät erojen puutteen riski- ja verrokkiryhmien välillä. Myös vanhemmalla todetun lukivaikeuden vaikeusaste vaihteli tässä tutkimuksessa lievästä vaikea-asteiseen, mikä entisestään saa aikaan vaihtelua riskiryhmän lasten joukkoon.

Tarkasteltaessa keskiarvoja herätevasteissa, esilukutaitoihin johdonmukaisimmin yhteydessä oleville muutoksille eli vokaali- ja äänenkorkeusmuutoksille syntyvät MMN-vasteet olivat suurempia verrokki- kuin riskiryhmässä, ja LDN-vasteet olivat pääasiassa suurempia riski- kuin verrokkiryhmässä, joskaan erot ryhmien välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä kuten aiemmissa tutkimuksissa (Hämäläinen ym., 2015; Lovio ym., 2010; Maurer ym., 2003; Neuhoﬀ ym., 2012). Havaitut ei-merkitsevät erot ryhmien välillä ovat kuitenkin linjassa aiempien tutkimusten kanssa, joissa MMN-vasteet ovat olleet pienentyneitä lukivaikeusriskissä olevilla lapsilla (esim. Lovio ym., 2010) ja tämän tutkimuksen tulosten kanssa siten, että suuret LDN-vasteet lukivaikeusriskissä olevilla lapsilla voisivat viitata haasteisiin puheäänten erottelussa. Toisaalta MMN- ja LDN-vasteiden ei aina ole havaittu olevan

poikkeavia edes lukivaikeusdiagnoosin saaneilla (Paul ym., 2006; Thiede ym., 2020). Onkin esitetty, että lukivaikeudessa kuulojärjestelmä erottaa puheäänteiden muutokset, mutta niitä ei pystytä kategorisoimaan, minkä vuoksi erot suhteessa verrokkeihin havaittaisiin vain äänteiden käsittelyssä tehtävätasolla (Paul ym., 2006).

Tarkasteltaessa keskiarvoja esilukutaidoissa, verrokkiryhmä suoriutui paremmin kuin riskiryhmä nopeassa sarjallisessa nimeämisessä ja kirjaintuntemuksessa, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Erojen puutetta esilukutaidoissa suoriutumisessa voi osin selittää se, että osalla lapsista on havaittu haasteiden ilmenevän vasta kouluikää lähestyttäessä keskeisimmin lukemiseen liittyvissä taidoissa (Lyytinen ym., 2006). Herätevasteet puheäänille voivat silti olla yhteydessä esilukutaitojen tasoon. Myös aiemmassa Thieden ym. (2020) tutkimuksessa MMN- ja LDN-vasteiden havaittiin olevan yhteydessä lukemiseen liittyviin taitoihin, vaikka herätevasteissa ei havaittu eroja aikuisilla, joilla oli todettu lukivaikeus ja verrokeilla.

Riski- ja verrokkiryhmien vertailun heikkoutena on huomattava ryhmien eroavuus taustatekijöiden suhteen, sillä sukupuolijakauma ryhmissä oli selvästi erilainen poikien ollessa yliedustettuna riskiryhmässä ja tyttöjen sen sijaan verrokkiryhmässä. Toisaalta tämän sukupuolijakauman olisi voinut odottaa korostavan eroja esilukutaidoissa suoriutumisessa, sillä pojilla on keskimäärin heikommat lukutaidot ja todennäköisemmin lukivaikeutta kuin tytöillä (ks. sukupuolten väliset erot lukutaidossa ja sen kehityksessä esim. Miles, Haslum & Wheeler, 1998; Robinson & Lubienski, 2011; Stoet & Geary, 2013).

4.5 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet

On huomioitava, että tutkimuksen otoskoko jäi melko pieneksi ja tulokset tulisi siksi varmentaa seuranta-aineiston kertyessä suuremmaksi. Tulokset herätevasteiden yhteyksistä esilukutaitoihin eivät välttämättä ole yleistettävissä esilukutaitojen omaksumiseen ja puheen käsittelyyn tyypillisesti kehittyvillä lapsilla, koska suurella osalla lapsista oli riski lukivaikeudelle. Tutkimuksen heikkoutena on tyyppin 1 virheen mahdollisuus, koska herätevasteiden ja esilukutaitojen yhteyksiä sekä lukivaikeuden riskin vaikutusta niihin selvitettiin usealla yksittäisellä testillä. Esilukutaitoja tarkasteltiin erillisillä testeillä, koska tarkasteltavien osatestien voitiin olettaa korreloivan keskenään vahvasti ja seurannan myöhempiä vaiheita ajatellen esilukutaitojen itsenäiset efektit olivat kiinnostuksen kohteena. Korrelaatioanalyysissä Bonferroni-korjauksen jälkeen tulosten tilastollinen merkitsevyys katosi johtuen todennäköisesti korjausmenetelmän konservatiivisuudesta, mikä puolestaan saattoi johtaa tyyppin 2 virheeseen.

Esilukutaitoja mittaavien osatestien esittämisessä ja tulkinnassa noudatettiin käsikirjan ohjeita, mutta erot tehtävien toteutuksessa tutkimusavustajien välillä ovat silti mahdollisia. Eroja osatestien

esittämisessä ja tulkinassa pyrittiin välttämään sillä, että kielellisiä tutkimuksia toteuttaneet tutkimusavustajat ratkoivat näihin liittyviä epäselvyyksiä tiiviissä yhteistyössä. Lisäksi lapset verrokki- ja riskiryhmästä pyrittiin jakamaan tutkimusavustajien kesken tasapuolisesti ja tutkimusavustajan odotusten vaikutuksen minimoimiseksi ryhmä, johon lapsi kuului ei pääsääntöisesti ollut hänellä tiedossa. On myös tiedostettava lasten arviointiin liittyvät haasteet esimerkiksi tarkkaavuuteen, vireystilaan ja motivaatioon liittyen, joiden myötä yhden tutkimustilanteen aikana ei välttämättä ole mahdollista arvioida lapsen parasta suoritusta luotettavasti. Tästä huolimatta kaikki osatestit saatiin yleensä tutkimusajan puitteissa tehtyä, joskin pitkän tutkimuksen aikana monet lapset luonnollisesti väsyivät loppua kohden.

Vaikka EEG-aineiston käsittelystä suuri osa oli automatisoitua, kuului aineiston käsittelyyn myös manuaalisesti toteutettuja vaiheita, joihin voi liittyä subjektiivisen arvioinnin aikaansaamaa virhevaihtelua. Manuaalisten vaiheiden toteuttamisessa pyrittiin objektiivisuuteen aineiston käsittelijöiden tiiviillä yhteistyöllä sekä noudattamalla ennalta asetettuja kriteerejä. Vaihtelu lasten herätevasteiden voimakkuuksissa oli melko suurta ja komponenttien määrittämisessä käytettiin aikaikkunoita herätevasteiden huippuvoimakkuuksien ryhmäkeskiarvojen ympäriltä. Jatkossa yksilöllisesti valituilla aikaikkunoilla saataisiin mahdollisesti herätevasteiden kuvaamat ilmiöt vielä paremmin esiin. Tulokset herätevasteiden jakaumien ja esilukutaitojen yhteyksistä olisi hyvä varmentaa paikallisesti tarkemmalla menetelmällä, kuten EEG:n yhteydessä järjestetyllä aivojen magneettikuvauksella (engl. *magnetoencephalography*, MEG) samaan tapaan kuin Thieden ym. (2020) tutkimuksessa.

Tutkimuksen vahvuutena ovat käytetyt puheärsykkeet, jotka olivat luonnollisia suomenkielisiä epäsanvoja. Luonnollisilla puheärsykkeillä saadaan todennäköisesti ekologisesti validimpaa tietoa puheäänten käsittelystä verrattuna osittain keinotekoisesti tuotettuihin puheääniin, joita niin ikään on käytetty aiemmissa tutkimuksissa (Kuuluvainen ym., 2016; Linnavalli ym., 2017). Käytetyt puheäänten muutokset olivat keskeisiä puheen havaitsemisen kannalta, mutta ottaen huomioon erityisesti vokaalimuutoksen erottamisen merkityksen esilukutaitojen kannalta, myös konsonanttimuutos olisi hyvä jatkossa ottaa tarkasteluun mukaan. On kuitenkin huomattava, että tämän tutkimuksen tulokset puheäänten hermostollisen käsittelyn suhteesta esilukutaitoihin eivät ole välttämättä yleistettävissä muihin kieliin, joissa esimerkiksi kielen äännekategoriat ovat erilaiset tai sanojen ääntämys ei ole yhtä säännönmukaista kuin suomen kielessä (vrt. esim. englannin kieli).

4.6 Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tulokset tukevat puheen hermostollisen erottelukyvyn yhteyttä esilukutaitoihin noin neljän vuoden ja seitsemän kuukauden iässä. Suuret LDN-vasteet olivat pääasiassa yhteydessä heikkoon

suoritukseen sekä nopeassa sarjallisessa nimeämisessä että kirjaintuntemuksessa, joskin ristiriitaisesti LDN suurelle äänenkorkeusmuutokselle oli yhteydessä kirjaintuntemukseen ja LDN vokaalin keston muutokselle oli yhteydessä nopeaan sarjalliseen nimeämiseen siten, että LDN-vasteet olivat suuria hyvin näissä esilukutaidoissa suoriutuvilla lapsilla. Herätevasteiden voimakkuuden yhteydet esilukutaitoihin havaittiin pääasiassa vokaalin ja äänenkorkeuden muutoksille syntyvillä herätevasteilla, joten näiden muutosten käsittely vaikuttaa merkittävältä lukutaidon kehityksen kannalta.

Puheen käsittelyä heijastavien MMN-vasteiden painottuminen oikealle aivopuoliskolle oli yhteydessä heikkoon nopeaan sarjalliseen nimeämiseen, kun taas siinä hyvin suoriutuvilla vasteet olivat pääasiassa suurempia vasemmalla. Aivopuoliskojen välinen epätyypillinen työnjako puheäänten, mahdollisesti erityisesti äänteiden ja niiden keston muutosten käsittelyssä saattaa olla yhteydessä esilukutaitojen heikkoon kehitykseen, mikä voi olla merkittävä mekanismi myös lukivaikeuteen liitettyjen äännejärjestelmän puutteiden taustalla. Tulosten perusteella eri äännekategorioiden käsittely ja erottelu voivat olla tärkeitä vahvistettavia osa-alueita lukutaitoja tuettaessa, joskin tätä tulisi jatkossa selvittää interventiotutkimuksella.

Lähteet

- Arkkila, E., Smolander, S. & Laasonen, M. (2013). Monikielisyys ja kielellinen erityisvaikeus. *Duodecim*, 129, 200–207. <http://www.duodecimlehti.fi/lehti/2013/2/duo10756>
- Bishop, D. V. M., Hardiman, M. J. & Barry, J. G. (2011). Is auditory discrimination mature by middle childhood? A study using time-frequency analysis of mismatch responses from 7 years to adulthood. *Developmental Science*, 14, 402–416. doi:10.1111/j.1467-7687.2010.00990.x
- Caravolas, M., Lervåg, A., Defior, S., Seidlová Málková, G. & Hulme, C. (2013). Different patterns, but equivalent predictors, of growth in reading in consistent and inconsistent orthographies. *Psychological Science*, 24, 1398–1407. doi:10.1177/0956797612473122
- Čeponienė, R., Lepistö, T., Alku, P., Aro, H. & Näätänen, R. (2003). Event-related potential indices of auditory vowel processing in 3-year-old children. *Clinical Neurophysiology*, 114, 652–661. doi:10.1016/S1388-2457(02)00436-4
- Čeponienė, R., Lepistö, T., Soininen, M., Aronen, E., Alku, P. & Näätänen, R. (2004). Event-related potentials associated with sound discrimination versus novelty detection in children. *Psychophysiology*, 41, 130–141. doi:10.1111/j.1469-8986.2003.00138.x
- Chall, J. (1979). The great debate: Ten years later, with the modest proposal for reading stages. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED155617.pdf>
- Chen, Y., Tsao, F. & Liu, H. (2016). Developmental changes in brain response to speech perception in late-talking children: A longitudinal MMR study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 19, 190–199. doi:10.1016/j.dcn.2016.03.007
- Cheour, M., Korpilahti, P., Martynova, O. & Lang, A.-H. (2001). Mismatch negativity and late discriminative negativity in investigating speech perception and learning in children and infants. *Audiology & Neurotology*, 6, 2–11. doi:10.1159/000046804
- Christopher, M. E., Hulslander, J., Byrne, B., Samuelsson, S., Keenan, J. M., Pennington, B., ... Olson, R. K. (2014). Genetic and environmental etiologies of the longitudinal relations between pre-reading skills and reading. *Child Development*, 86, 342–361. doi: 10.1111/cdev.12295

- Coch, D. & Gullick, M. M. (2012). Event-related potentials and development. Teoksessa S. J. Luck & E. S. Kappenman (toim.), *The Oxford handbook of event-related potential components* (s. 475–511). Oxford: Oxford University Press, Inc.
- Datta, H., Shafer, V. L., Morr, M. L., Kurtzberg, D. & Schwartz, R. G. (2010). Electrophysiological indices of discrimination of long-duration, phonetically similar vowels in children with typical and atypical language development. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 53, 757–777. doi:10.1044/1092-4388(2009/08-0123)
- Dehaene-Lambertz, G. & Gliga, T. (2004). Common neural basis for phoneme processing in infants and adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1375–1387. doi:10.1162/0898929042304714
- Delorme, A. & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134, 9–21. doi:10.1016/j.jneumeth.2003.10.009
- Ehri, L. C. (1987). Learning to read and spell words. *Journal of Reading Behavior*, XIX, 5–31. doi:10.1080/10862968709547585
- Ehri, L. C. & Wilce, L. S. (1985). Movement into reading: Is the first stage of printed word learning visual or phonetic? *Reading Research Quarterly*, 20, 163–179. doi:10.2307/747753
- Ervast, L., Hämäläinen, J. A., Zachau, S., Lohvansuu, K., Heinänen, K., Veijola, M., ... Leppänen, P. H. T. (2015). Event-related brain potentials to change in the frequency and temporal structure of sounds in typically developing 5–6-year-old children. *International Journal of Psychophysiology*, 98, 413–425. doi:10.1016/j.ijpsycho.2015.08.007
- Foxton, J., Talcott, J., Witton, C., Brace, H., McIntyre, F. & Griffiths, T. D. (2003). Reading skills are related to global, but not local, acoustic pattern perception. *Nature Neuroscience*, 6, 343–344. doi:10.1038/nn1035
- Frith, U. (1986). A developmental framework for developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 36, 67–81. doi:10.1007/bf02648022
- Guttorm, T. K., Leppänen, P. H. T., Hämäläinen, J. A., Eklund, K. M. & Lyytinen, H. J. (2009). Newborn event-related potentials predict poorer pre-reading skills in children at risk for dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 43, 391–401. doi:10.1177/0022219409345005

- Halliday, L. F., Barry, J. G., Hardiman, M. J. & Bishop, D. V. (2014). Late, not early mismatch responses to changes in frequency are reduced or deviant in children with dyslexia: an event-related potential study. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 6, 1–15. doi:10.1186/1866-1955-6-21
- Hämäläinen, J. A., Lohvansuu, K., Ervast, L. & Leppänen, P. H. T. (2015). Event-related potentials to tones show differences between children with multiple risk factors for dyslexia and control children before the onset of formal reading instruction. *International Journal of Psychophysiology*, 95, 101–112. doi:10.1016/j.ijpsycho.2014.04.004
- Helland, T. & Morken, F. (2015). Neurocognitive development and predictors of L1 and L2 literacy skills in dyslexia: A longitudinal study of children 5-11 years old. *Dyslexia*, 22, 3–26. doi:10.1002/dys.1515
- Hong, T., Shuai, L., Frost, S. J., Landi, N., Pugh, K. R. & Shu, H. (2018). Cortical responses to chinese phonemes in preschoolers predict their literacy skills at school age. *Developmental Neuropsychology*, 43, 356–369. doi:10.1080/87565641.2018.1439946
- Hulme, C. & Snowling, M. J. (2016). Reading disorders and dyslexia. *Current Opinion in Pediatrics*, 28, 731–735. doi:10.1097/mop.0000000000000411
- Kailaheimo-Lönnqvist, L., Virtala, P., Fandakova, Y., Partanen, E., Leppänen, P. H. T., Thiede, A. & Kujala, T. (2020). Infant event-related potentials to speech are associated with prelinguistic development. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 45, 100831. doi:10.1016/j.dcn.2020.100831
- Kirby, J. R., Parrila, R. K. & Pfeiffer, S. L. (2003). Naming speed and phonological awareness as predictors of reading development. *Journal of Educational Psychology*, 95, 453–464. doi:10.1037/0022-0663.95.3.453
- Korkman, M., Kirk, U. & Kemp, S. L. (2008). *NEPSY II: käsikirja I : testin esitys- ja pisteytysohjeet*. Helsinki: Psykologien kustannus.
- Korpilahti, P., Lang, H. & Aaltonen, O. (1995). Is there a late-latency mismatch negativity (MMN) component? *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 95, 96P–96P.
- Kujala, T. (2007). The role of early auditory discrimination deficits in language disorders. *Journal of Psychophysiology*, 21, 239–250. doi:10.1027/0269-8803.21.34.239

- Kujala, T. & Leminen, M. (2017). Low-level neural auditory discrimination dysfunctions in specific language impairment—A review on mismatch negativity findings. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 28, 65–75. doi:10.1016/j.dcn.2017.10.005
- Kujala, T., Tervaniemi, M. & Schröger, E. (2007). The mismatch negativity in cognitive and clinical neuroscience: Theoretical and methodological considerations. *Biological Psychology*, 74, 1–19. doi:10.1016/j.biopsycho.2006.06.001
- Kuuluvainen, S., Alku, P., Makkonen, T., Lipsanen, J., Kujala, T. & Molholm, S. (2016). Cortical speech and non-speech discrimination in relation to cognitive measures in preschool children. *European Journal of Neuroscience*, 43, 738–750. doi:10.1111/ejn.13141
- Kuuluvainen, S., Nevalainen, P., Sorokin, A., Mittag, M., Partanen, E., Putkinen, V., ... Kujala, T. (2014). The neural basis of sublexical speech and corresponding nonspeech processing: a combined EEG–MEG study. *Brain and Language*, 130, 19–32. doi:10.1016/j.bandl.2014.01.008
- Lee, C. (2019). Neural underpinnings of early speech perception and emergent literacy. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 71, 146–155. doi:10.1159/000497058
- Lee, C., Yen, H., Yeh, P., Lin, W., Cheng, Y., Tzeng, Y. & Wu, H. (2012). Mismatch responses to lexical tone, initial consonant, and vowel in Mandarin-speaking preschoolers. *Neuropsychologia*, 50, 3228–3239. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2012.08.025
- Leppänen, P. H. T., Hämäläinen, J. A., Salminen, H. K., Eklund, K. M., Guttorm, T. K., Lohvansuu, K., ... Lyytinen, H. (2010). Newborn brain event-related potentials revealing atypical processing of sound frequency and the subsequent association with later literacy skills in children with familial dyslexia. *Cortex*, 46, 1362–1376. doi:10.1016/j.cortex.2010.06.003
- Linnavalli, T., Putkinen, V., Huotilainen, M. & Tervaniemi, M. (2017). Phoneme processing skills are reflected in children's MMN responses. *Neuropsychologia*, 101, 76–84. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2017.05.013
- Linnavalli, T., Putkinen, V., Huotilainen, M. & Tervaniemi, M. (2018). Maturation of speech-sound ERPs in 5–6-year-old children: A longitudinal study. *Frontiers in Neuroscience*, 12, 814. doi:10.3389/fnins.2018.00814

- Lohvansuu, K., Hämäläinen, J. A., Ervast, L., Lyytinen, H. & Leppänen, P. H. T. (2018). Longitudinal interactions between brain and cognitive measures on reading development from 6 months to 14 years. *Neuropsychologia*, 108, 6–12. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2017.11.018
- Lopez-Calderon, J. & Luck, S. J. (2014). ERPLAB: an open-source toolbox for the analysis of event-related potentials. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 213. doi:10.3389/fnhum.2014.00213
- Lovio, R., Näätänen, R. & Kujala, T. (2010). Abnormal pattern of cortical speech feature discrimination in 6-year-old children at risk for dyslexia. *Brain Research*, 1335, 53–62. doi:10.1016/j.brainres.2010.03.097
- Lovio, R., Pakarinen, S., Huotilainen, M., Alku, P., Silvennoinen, S., Näätänen, R. & Kujala, T. (2009). Auditory discrimination profiles of speech sound changes in 6-year-old children as determined with the multi-feature MMN paradigm. *Clinical Neurophysiology*, 120, 916–921. doi:10.1016/j.clinph.2009.03.010
- Luck, S. J. (2014). *An introduction to the event-related potential technique* (2. painos). Cambridge, MA: MIT Press.
- Lyytinen, H., Erskine, J., Tolvanen, A., Torppa, M., Poikkeus, A. & Lyytinen, P. (2006). Trajectories of reading development: A follow-up from birth to school age of children with and without risk for dyslexia. *Merrill-Palmer Quarterly*, 514–546. doi:10.1353/mpq.2006.0031
- Maurer, U., Bucher, K., Brem, S., Benz, R., Kranz, F., Schulz, E., ... Brandeis, D. (2009). Neurophysiology in preschool improves behavioral prediction of reading ability throughout primary school. *Biological Psychiatry*, 66, 341–348. doi:10.1016/j.biopsych.2009.02.031
- Maurer, U., Bucher, K., Brem, S. & Brandeis, D. (2003). Altered responses to tone and phoneme mismatch in kindergartners at familial dyslexia risk. *NeuroReport*, 14, 2245–2250. doi:10.1097/01.wnr.0000096518.69073.a7
- Miles, T. R., Haslum, M. N. & Wheeler, T. J. (1998). Gender ratio in dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 48, 27–55. <https://doi.org/10.1007/s11881-998-0003-8>
- Neuhoff, N., Bruder, J., Bartling, J., Warnke, A., Remschmidt, H., Müller-Myhsok, B. & Schulte-Körne, G. (2012). Evidence for the late MMN as a neurophysiological endophenotype for dyslexia. *PloS one*, 7, e34909. doi:10.1371/journal.pone.0034909

- Norton, E. S. & Wolf, M. (2012). Rapid automatized naming (RAN) and reading fluency: Implications for understanding and treatment of reading disabilities. *Annual Review of Psychology*, 63, 427–452. doi:10.1146/annurev-psych-120710-100431
- Noordenbos, M. & Serniclaes, W. (2015). The categorical perception deficit in dyslexia: A meta-analysis. *Scientific Studies of Reading*, 19, 340–359. doi:10.1080/10888438.2015.1052455
- Näätänen, R., Lehtokoski, A., Lennes, M., Cheour, M., Huotilainen, M., Iivonen, A., ... Alho, K. (1997). Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses. *Nature*, 385, 432–434. doi: 10.1038/385432a0
- Näätänen, R., Gaillard, A. W. K. & Mäntysalo, S. (1978). Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, 42, 313–329. doi:10.1016/0001-6918(78)90006-9
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T. & Alho, K. (2007). The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review. *Clinical Neurophysiology*, 118, 2544–2590. doi:10.1016/j.clinph.2007.04.026
- Ozernov-Palchik, O. & Gaab, N. (2016). Tackling the ‘dyslexia paradox’: Reading brain and behavior for early markers of developmental dyslexia. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Cognitive Science*, 7, 156–176. doi:10.1002/wcs.1383
- Pakarinen, S., Sokka, L., Leinikka, M., Henelius, A., Korpela, J. & Huotilainen, M. (2014). Fast determination of MMN and P3a responses to linguistically and emotionally relevant changes in pseudoword stimuli. *Neuroscience Letters*, 577, 28–33. doi:10.1016/j.neulet.2014.06.004
- Paul, I., Bott, C., Heim, S., Wienbruch, C. & Elbert, T. R. (2006). Phonological but not auditory discrimination is impaired in dyslexia. *European Journal of Neuroscience*, 24, 2945–2953. doi:10.1111/j.1460-9568.2006.05153.x
- Puolakanaho, A., Poikkeus, A., Ahonen, T. & Aro, M. (2011). *LUKIVA - Lukivalmiuksien arviointimenetelmä 4–5-vuotiaille lapsille*. Jyväskylä: Niilo Mäki Instituutti.
- Putkinen, V., Niinikuru, R., Lipsanen, J., Tervaniemi, M. & Huotilainen, M. (2012). Fast measurement of auditory event-related potential profiles in 2–3-year-olds. *Developmental Neuropsychology*, 37, 51–75. doi:10.1080/87565641.2011.615873

- Ramus, F. & Szenkovits, G. (2008). What phonological deficit? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *61*, 129–141. doi: 10.1080/17470210701508822
- Ramus, F. (2014). Neuroimaging sheds new light on the phonological deficit in dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, *18*, 274–275. doi:10.1016/j.tics.2014.01.009
- Robinson, J. P. & Lubienski, S. T. (2011). The development of gender achievement gaps in mathematics and reading during elementary and middle school: Examining direct cognitive assessments and teacher ratings. *American Educational Research Journal*, *48*, 268–302. doi: 10.3102/0002831210372249
- Roeber, U., Widmann, A. & Schröger, E. (2003). Auditory distraction by duration and location deviants: A behavioral and event-related potential study. *Cognitive Brain Research*, *17*, 347–357. doi:10.1016/S0926-6410(03)00136-8
- Sammler, D., Grosbras, M. H., Anwender, A., Bestelmeyer, P. E. & Belin, P. (2015). Dorsal and ventral pathways for prosody. *Current Biology*, *25*, 3079–3085. doi: 10.1016/j.cub.2015.10.009
- Schröger, E., Giard, M. -H. & Wolff, C. (2000). Auditory distraction: event-related potential and behavioral indices. *Clinical Neurophysiology*, *111*, 1450–1460. doi:10.1016/S1388-2457(00)00337-0
- Shafer, V. L., Yu, Y. H. & Datta, H. (2010). Maturation of speech discrimination in 4- to 7-yr-old children as indexed by event-related potential mismatch responses. *Ear and Hearing*, *31*, 735–745. doi:10.1097/AUD.0b013e3181e5d1a7
- Shapiro, L. R., Carroll, J. M. & Solity, J. E. (2013). Separating the influences of prereading skills on early word and nonword reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, *116*, 278–295. doi:10.1016/j.jecp.2013.05.011
- Shestakova, A., Huottilainen, M., Čeponienė, R. & Cheour, M. (2003). Event-related potentials associated with second language learning in children. *Clinical Neurophysiology*, *114*, 1507–1512. doi:10.1016/s1388-2457(03)00134-2
- Snowling, M. J., Gallagher, A. & Frith, U. (2003). Family risk of dyslexia is continuous: Individual differences in the precursors of reading skill. *Child Development*, *74*, 358–373. doi:10.1111/1467-8624.7402003

- Snowling, M. J. & Melby-Lervåg, M. (2016). Oral language deficits in familial dyslexia: A meta-analysis and review. *Psychological Bulletin*, 142, 498–545. doi:10.1037/bul0000037
- Sorokin, A., Alku, P. & Kujala, T. (2010). Change and novelty detection in speech and non-speech sound streams. *Brain Research*, 1327, 77–90. doi:10.1016/j.brainres.2010.02.052
- Spironelli, C. & Angrilli, A. (2009). Developmental aspects of automatic word processing: Language lateralization of early ERP components in children, young adults and middle-aged subjects. *Biological Psychology*, 80, 35–45. doi:10.1016/j.biopsycho.2008.01.012
- Stoet, G. & Geary, D. C. (2013). Sex differences in mathematics and reading achievement are inversely related: Within-and across-nation assessment of 10 years of PISA data. *PLoS one*, 8, e57988. doi: 10.1371/journal.pone.0057988
- Tavares, A., Crespo, C. & Ribeiro, M. T. (2017). Maturation of long latency auditory evoked potentials in hearing children: systematic review. *Psychology, Community & Health*, 6, 42–58. doi:10.5964/pch.v6i1.191
- Tervaniemi, M. & Hugdahl, K. (2003). Lateralization of auditory-cortex functions. *Brain Research Reviews*, 43, 231–246. doi:10.1016/j.brainresrev.2003.08.004
- Thiede, A., Parkkonen, L., Virtala, P., Laasonen, M., Mäkelä, J. P. & Kujala, T. (2020). Neuromagnetic speech discrimination responses are associated with reading-related skills in dyslexic and typical readers. *Heliyon*, 6, e04619. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04619
- Thiede, A., Virtala, P., Ala-Kurikka, I., Partanen, E., Huotilainen, M., Mikkola, K., ... Kujala, T. (2019). An extensive pattern of atypical neural speech-sound discrimination in newborns at risk of dyslexia. *Clinical Neurophysiology*, 130, 634–646. doi:10.1016/j.clinph.2019.01.019
- Thierry, G. (2005). The use of event-related potentials in the study of early cognitive development. *Infant and Child Development*, 14, 85–94. doi:10.1002/icd.353
- Torppa, M., Lyytinen, P., Erskine, J., Eklund, K. & Lyytinen, H. (2010). Language development, literacy skills, and predictive connections to reading in Finnish children with and without familial risk for dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 43, 308–321. doi:10.1177/0022219410369096
- Torppa, M., Poikkeus, A., Laakso, M., Eklund, K. & Lyytinen, H. (2006). Predicting delayed letter knowledge development and its relation to grade 1 reading achievement among children with and

without familial risk for dyslexia. *Developmental Psychology*, 42, 1128–1142. doi:10.1037/0012-1649.42.6.1128

Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J. & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): What have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45, 2–40. doi:10.1046/j.0021-9630.2003.00305.x

Virtala, P. & Partanen, E. (2018). Can very early music interventions promote at-risk infants' development? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1423, 92–101. doi:10.1111/nyas.13646

Whitehurst, G. J. & Lonigan, C. J. (1998). Child development and emergent literacy. *Child Development*, 69, 848–872. doi:10.1111/j.1467-8624.1998.00848.x

Wimmer, H. & Schurz, M. (2010). Dyslexia in regular orthographies: manifestation and causation. *Dyslexia*, 16, 283–299. doi:10.1002/dys.411

Wolf, M., Bally, H. & Morris, R. (1986). Automaticity, retrieval processes, and reading: A longitudinal study in average and impaired readers. *Child Development*, 57, 988–1000. doi:10.1111/j.1467-8624.1986.tb00260.x

Wolf, M., Bowers, P. G. & Biddle, K. (2000). Naming-speed processes, timing, and reading. *Journal of Learning Disabilities*, 33, 387–407. doi:10.1177/002221940003300409

Liitteet

Liite 1: Luku- ja kirjoitustaitokysely

ESILUKUTAIDOT, LUKU- JA KIRJOITUSTAIDOT 5 VUODEN IÄSSÄ

Seuraavat kysymykset koskevat lapsen esilukutaitoja ja luku- ja kirjoitustaitoja. Lapsen lukutaito kehittyy yksilöllisesti eikä lapsi vielä välttämättä osaa kysyttyjä taitoja. Ympyröi lapsen taitoja parhaiten kuvaava vaihtoehto.

ESILUKUTAIDOT.

Lapsi...

1. osaa riimitellä (kala-pala, kissa-pissa)

ei joskus lähes aina en tiedä

2. on kiinnostunut kirjaimista

ei joskus lähes aina en tiedä

3. tunnistaa oman nimensä kirjoitettuna

ei joskus lähes aina en tiedä

4. osaa kirjoittaa oman nimensä

ei joskus lähes aina en tiedä

5. tunnistaa kirjaimia

ei 1–2 3–7 7–15 yli 15 en tiedä

6. tunnistaa yksittäisiä sanoja kirjoitettuna

ei 1–5 sanaa 5–10 sanaa yli 10 sanaa en tiedä

7. osaa kirjoittaa uusia sanoja **mallista** (kopioiden)

ei joskus lähes aina en tiedä

8. osaa kirjoittaa kirjaimia ulkomuistista (ilman mallia)

ei 1-2 3-7 7-15 yli 15 en tiedä

LUKUTAITO. Tässä lukemisella tarkoitetaan sellaista lukemista, jossa lapsi ymmärtää lukemiaan uusia sanoja ja lauseita. Hänen lukemisensa ei siis perustu esimerkiksi tuttujen sanojen tunnistamiseen tai tutun tekstin ulkoa muistamiseen.

Lapsi...

9. osaa lukea 1-2-tavuisia uusia sanoja

ei joskus lähes aina en tiedä

10. osaa lukea 2-3-sanaisia uusia lauseita

ei joskus lähes aina en tiedä

11. lukee itsekseen kirjoja (ääneen/mielessään, ei vain kuvia katsellen/ulkomuistista)

ei lue kuvakirjoja joissa on vähän tekstiä

kuvakirjoja joissa on paljon tekstiä kirjoja joissa on lähinnä vain tekstiä en tiedä

12. lukee ääneen uusia sanoja tai lauseita

ei lue hitaasti, äänne tai tavu kerrallaan

melko hitaasti, sananosa tai sana kerrallaan melko sujuvasti, pysähtelemättä en tiedä

13. tekee lukiessaan virheitä (esim. sekoittaa kirjaimia keskenään, kirjaimet vaihtavat paikkaa tai lapsi erehtyy sanasta)

ei lue ei yleensä tee virheitä tekee joskus virheitä tekee usein virheitä

en tiedä

14. lapsi on kiinnostunut lukemisesta

ei joskus usein en tiedä

KIRJOITUSTAITO. Tässä kirjoittamisella tarkoitetaan sellaista lapsen itsenäisesti tuottamaa kirjoitusta, josta hän itse ja aikuinen ymmärtävät mitä lapsi on kirjoittanut.

Lapsi...

15. osaa kirjoittaa 1-2-tavuisia uusia sanoja (ilman mallia)

ei joskus lähes aina en tiedä

16. osaa kirjoittaa 2-3-sanaisia uusia lauseita (ilman mallia)

ei joskus lähes aina en tiedä

17. kirjoittaa itsekseen esim. omia muistiinpanoja, lyhyitä tarinoita tai päiväkirjaa

ei joskus usein en tiedä

18. kirjoittaa uusia sanoja tai lauseita

ei kirjoita hitaasti, kirjain tai tavu kerrallaan

melko hitaasti, sananosa tai sana kerrallaan melko sujuvasti, pysähtelemättä

en tiedä

19. tekee kirjoittaessaan virheitä (esim. sekoittaa kirjaimia keskenään, kirjaimet vaihtavat paikkaa)

ei kirjoita ei yleensä tee virheitä tekee joskus virheitä tekee usein virheitä
en tiedä

20. on kiinnostunut kirjoittamisesta

ei joskus usein en tiedä

Kiitos vastauksistasi!

LUKU- JA KIRJOITUSTAITOKYSELY: PISTEYTYSOHJE

ESILUKUTAIDOT

- kysymykset 1-4 ja 7 pisteytetään 0, 1, 2, tyhjä
- kysymykset 5 ja 8 pisteytetään 0, 0.5, 1, 1.5, 2, tyhjä
- kysymys 6 pisteytetään 0, 1, 2, 3, tyhjä
- osion maksimipistemäärä 17

LUKUTAITO

- kysymykset 9, 10 ja 14 pisteytetään 0, 1, 2, tyhjä
- kysymykset 11-12 pisteytetään 0, 1, 2, 3, tyhjä
- kysymys 13 pisteytetään käänteisesti 0, 3, 2, 1, tyhjä
- osion maksimipistemäärä 15

KIRJOITUSTAITO

- kysymykset 15-17 ja 20 pisteytetään 0, 1, 2, tyhjä
- kysymys 18 pisteytetään 0, 1, 2, 3, tyhjä
- kysymys 19 pisteytetään käänteisesti 0, 3, 2, 1, tyhjä
- osion maksimipistemäärä 14

Koko kyselyn maksimipistemäärä 46

Liite 2: Korrelaatiot herätevasteiden voimakkuuksien ja esilukutaitojen välillä

Liitetaulukko 1

Korrelaatiot MMN-vasteiden voimakkuuksien ja esilukutaitojen välillä.

MMN		konsonantin kesto		vokaalin kesto		vokaali		suuri äänenkorkeus		pieni äänenkorkeus	
		vasen	oikea	vasen	oikea	vasen	oikea	vasen	oikea	vasen	oikea
Äänteiden prosessointi	<i>r</i>	-0.27	-0.41	-0.22	-0.17	-0.25	-0.19	-0.10	-0.02	-0.04	-0.04
	<i>p</i>	.21	.05	.31	.44	.24	.40	.64	.93	.86	.84
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lauseiden toistaminen	<i>r</i>	0.06	-0.04	0.09	0.06	0.34	0.52	0.11	-0.05	0.23	0.18
	<i>p</i>	.81	.86	.69	.78	.13	.01	.63	.82	.31	.43
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Kirjaintuntemus	<i>r</i>	-0.08	-0.10	-0.25	-0.12	0.04	0.30	-0.30	-0.22	-0.13	-0.20
	<i>p</i>	.70	.64	.25	.57	.87	.17	.16	.31	.56	.37
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
RAN	<i>r</i>	0.24	0.06	0.19	0.01	0.11	-0.10	0.36	0.25	-0.02	-0.06
	<i>p</i>	.28	.78	.41	.97	.62	.66	.10	.25	.93	.79
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Työmuisti (<i>rp</i>)	<i>r</i>	-0.23	0.00	-0.10	-0.10	0.15	0.27	-0.21	-0.21	-0.15	-0.25
	<i>p</i>	.30	1.00	.66	.66	.51	.21	.35	.33	.50	.25
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Työmuisti (<i>span</i>)	<i>r</i>	-0.24	0.04	-0.10	-0.14	0.03	0.22	-0.22	-0.20	-0.13	-0.17
	<i>p</i>	.28	.84	.66	.54	.88	.31	.32	.36	.56	.43
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Kyselypisteet	<i>r</i>	-0.17	-0.11	-0.28	-0.10	-0.24	-0.11	-0.33	-0.13	0.57	0.50
	<i>p</i>	.61	.73	.38	.75	.46	.73	.30	.69	.05	.10
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Huom. *r* = Pearsonin korrelaatiokerroin, *rp* = raakapisteen, *span* = maksimikapasiteetti, tummennettuna $p < .05$ tasolla merkitsevät yhteydet ennen Bonferroni-korjausta.

Liitetaulukko 2

Korrelaatiot LDN-vasteiden voimakkuuksien ja esilukutaitojen välillä.

LDN		konsonantin kesto		vokaalin kesto		vokaali		suuri äänenkorkeus		pieni äänenkorkeus	
		vasen	oikea	vasen	oikea	vasen	oikea	vasen	oikea	vasen	oikea
Äänteiden prosessointi	<i>r</i>	-0.28	-0.40	-0.24	-0.14	-0.21	-0.13	-0.39	-0.43	-0.06	0.05
	<i>p</i>	.20	.06	.27	.52	.33	.56	.06	.04	.79	.83
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lauseiden toistaminen	<i>r</i>	0.15	0.09	0.09	0.03	0.11	0.36	0.13	0.14	0.32	0.04
	<i>p</i>	.49	.68	.70	.91	.64	.10	.57	.54	.14	.84
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Kirjaintuntemus	<i>r</i>	-0.13	-0.17	-0.07	-0.01	0.25	0.44	-0.40	-0.33	0.13	0.16
	<i>p</i>	.55	.45	.74	.95	.25	.04	.06	.12	.56	.48
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
RAN	<i>r</i>	0.05	-0.04	0.20	0.19	-0.35	-0.37	0.29	0.22	-0.14	-0.29
	<i>p</i>	.83	.85	.37	.41	.11	.09	.20	.32	.54	.18
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Työmuisti (<i>rp</i>)	<i>r</i>	-0.14	0.05	-0.09	-0.08	0.28	0.23	0.02	0.12	-0.23	-0.18
	<i>p</i>	.52	.81	.69	.70	.20	.28	.91	.58	.29	.41
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Työmuisti (<i>span</i>)	<i>r</i>	-0.12	0.03	-0.10	-0.15	0.17	0.13	0.11	0.20	-0.23	-0.23
	<i>p</i>	.59	.88	.65	.48	.43	.55	.61	.37	.29	.29
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Kyselypisteet	<i>r</i>	0.17	0.10	0.20	0.18	0.50	0.41	-0.23	-0.13	0.12	0.38
	<i>p</i>	.60	.75	.54	.58	.10	.19	.48	.70	.70	.22
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Huom. *r* = Pearsonin korrelaatiokerroin, *rp* = raakapisteet, *span* = maksimikapasiteetti, tummennettuna $p < .05$ tasolla merkitsevät yhteydet ennen Bonferroni-korjausta.

Liite 3: Korrelaatiot lateralisaatioindeksien ja esilukutaitojen välillä

Liitetaulukko 3

Korrelaatiot MMN-vasteiden lateralisaatioindeksien ja esilukutaitojen välillä.

		konsonantin kesto	vokaalin kesto	vokaali	suuri äänenkorkeus	pieni äänenkorkeus
Äänteiden prosessointi	<i>r</i>	0.09	0.00	-0.09	-0.17	0.02
	<i>p</i>	.68	.98	.69	.43	.92
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lauseiden toistaminen	<i>r</i>	0.14	0.01	-0.39	0.32	0.07
	<i>p</i>	.53	.96	.08	.15	.75
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Kirjaintuntemus	<i>r</i>	-0.01	-0.12	-0.47	-0.23	0.18
	<i>p</i>	.98	.60	.02	.28	.41
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
RAN	<i>r</i>	0.32	0.22	0.36	0.29	0.10
	<i>p</i>	.14	.33	.10	.20	.66
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Työmuisti (<i>rp</i>)	<i>r</i>	-0.39	0.03	-0.25	-0.05	0.27
	<i>p</i>	.06	.88	.25	.81	.20
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Työmuisti (<i>span</i>)	<i>r</i>	-0.47	0.10	-0.35	-0.10	0.13
	<i>p</i>	.03	.66	.11	.66	.55
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Kyselypisteet	<i>r</i>	-0.13	-0.22	-0.27	-0.38	-0.09
	<i>p</i>	.68	.49	.40	.23	.79
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Huom. *r* = Pearsonin korrelaatiokerroin, *rp* = raakapiste, *span* = maksimikapasiteetti, tummennettuna *p* < .05 tasolla merkitsevät yhteydet ennen Bonferroni-korjausta.

Liitetaulukko 4

Korrelaatiot LDN-vasteiden lateralisaatioindeksien ja esilukutaitojen välillä.

		konsonantin kesto	vokaalin kesto	vokaali	suuri äänenkorkeus	pieni äänenkorkeus
Äänteiden prosessointi	<i>r</i>	0.24	-0.24	-0.14	-0.13	-0.15
	<i>p</i>	.27	.28	.53	.55	.49
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lauseiden toistaminen	<i>r</i>	0.12	0.16	-0.51	0.05	0.34
	<i>p</i>	.61	.49	.01	.84	.12
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	.70	1.00	1.00
Kirjaintuntemus	<i>r</i>	0.07	-0.16	-0.40	-0.26	-0.09
	<i>p</i>	.76	.48	.06	.23	.69
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
RAN	<i>r</i>	0.17	0.00	0.09	0.21	0.30
	<i>p</i>	.46	1.00	.69	.35	.17
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Työmuisti (<i>rp</i>)	<i>r</i>	-0.39	0.00	0.04	-0.12	0.00
	<i>p</i>	.07	.99	.85	.59	.99
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Työmuisti (<i>span</i>)	<i>r</i>	-0.30	0.15	0.06	-0.06	0.08
	<i>p</i>	.16	.50	.80	.78	.73
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Kyselypisteet	<i>r</i>	0.10	-0.01	0.22	-0.27	-0.41
	<i>p</i>	.77	.99	.49	.40	.19
	<i>Bonferroni p</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Huom. *r* = Pearsonin korrelaatiokerroin, *rp* = raakapiste, *span* = maksimikapasiteetti, tummennettuna $p < .05$ tasolla merkitsevät yhteydet ennen Bonferroni-korjausta.